



TUGAS AKHIR - RE 141581

**STUDI SERAPAN KARBON DIOKSIDA (CO₂)
UDARA AMBIEN OLEH TUMBUHAN AIR
MENGUNAKAN INDIKATOR NILAI
KUMULATIF KONSENTRASI (Net-CO₂-Con)**

ROHMAH IFTITAH SA'IDATUL IZZAH
0321144000029

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - RE 141581

STUDI SERAPAN KARBON DIOKSIDA (CO_2) UDARA AMBIEN OLEH TUMBUHAN AIR MENGUNAKAN INDIKATOR NILAI KUMULATIF KONSENTRASI (Net- CO_2 -Con)

ROHMAH IFTITAH SA'IDATUL IZZAH
0321144000029

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - RE 141581

**STUDIES OF CARBON DIOXIDE (CO₂)
AMBIENT AIR UPTAKE BY AQUATIC
PLANTS USING CUMULATIVE
CONCENTRATION VALUE INDICATOR (Net-
CO₂-Con)**

ROHMAH IFTITAH SA'IDATUL IZZAH
03211440000029

Supervisor
Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil, Environment, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI SERAPAN KARBON DIOKSIDA (CO₂) UDARA AMBIEN OLEH TUMBUHAN AIR MENGGUNAKAN INDIKATOR NILAI KUMULATIF KONSENTRASI (Net-CO₂-Con)

TUGAS AKHIR


Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ROHMAH IFTITAH SA'IDATUL IZZAH
NRP. 03211440000029

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:


Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT
NIP. 19650508 199303 1 001



“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

Studi Serapan Karbon Dioksida (CO₂) Udara Ambien oleh Tumbuhan Air Menggunakan Indikator Nilai Kumulatif Konsentrasi (Net-CO₂-Con)

Nama Mahasiswa : Rohmah Iftitah Sa'adatul Izzah
NRP : 03211440000029
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT.

ABSTRAK

Ruang Terbuka Hijau (RTH) adalah penampakan hijau pada suatu kawasan yang secara alami maupun sengaja ditanami vegetasi. Luasan RTH di wilayah perkotaan yang masih belum mencukupi target membutuhkan pengembangan RTH untuk wilayah perairan karena keterbatasan lahan. Aliran sungai merupakan area yang paling berpotensi untuk pengembangan RTH di perairan karena kaya nutrisi dan berada di daerah sekitar aktivitas manusia. Pada penelitian ini dipilih aliran Sungai Kalimas, merupakan sungai terbesar yang membelah pusat Kota Surabaya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan serapan karbon dioksida berdasarkan jenis dan luas tumbuhan air.

Penelitian dilaksanakan di *greenhouse* Departemen Teknik Lingkungan ITS. Tumbuhan air yang digunakan adalah *Eichhornia crassipes* (eceng gondok), *Pistia stratiotes* (kayu apu), dan *Hydrilla verticillata* (hydrilla). Masing-masing perlakuan 3 (tiga) jenis luas tumbuhan yakni 25%, 50%, dan 75% dari luas reaktor yang digunakan. Penelitian dilakukan dengan pengukuran konsentrasi karbon dioksida udara setiap jam selama 13 jam (06.00 hingga 18.00 WIB). Parameter yang diukur adalah suhu dan konsentrasi karbon dioksida yang dilakukan selama 7 (tujuh) hari. Data pengukuran konsentrasi karbon dioksida akan diplotkan ke dalam grafik (Ct). Persamaan konsentrasi Ct dideferensi untuk mendapatkan persamaan laju perubahan konsentrasi karbon dioksida (dC/dt). Selanjutnya, persamaan laju perubahan konsentrasi karbon dioksida diintegrasikan untuk mendapatkan nilai kumulatif konsentrasi karbon dioksida (Net-CO₂-Con).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tumbuhan air dapat menyerap CO₂ udara karena memiliki kandungan klorofil sehingga

dapat melakukan fotosintesis. Tumbuhan air mampu menyerap CO_2 melalui proses fotosintesis dengan konsentrasi terendah saat siang hari pukul 11.00-14.00 WIB. Hasil kurva perubahan konsentrasi yang didapatkan sama dengan kurva perubahan konsentrasi CO_2 pohon. Jenis tumbuhan air yang mampu menyerap CO_2 terbanyak adalah tumbuhan kayu apu dengan nilai serapan sebesar -207,30 ppmv. Sedangkan tumbuhan yang memiliki nilai serapan terkecil adalah tumbuhan eceng gondok sebesar -56,47 ppmv. Pengaruh luas tumbuhan terhadap nilai KCO_2 berbanding lurus, semakin luas tumbuhan air pada reaktor maka semakin tinggi pula nilai KCO_2 yang dihasilkan. Berdasarkan koefisien pada persamaan model yang didapatkan, perubahan laju serapan tertinggi setiap adanya penambahan luas tumbuhan terjadi pada tumbuhan kayu apu sebesar -261,5 ppmv, kemudian eceng gondok -196,67 ppmv, dan yang terendah terjadi pada tumbuhan hydrilla sebesar -145,69 ppmv.

Kata Kunci : *Eichhornia crassipes*, *Hydrilla verticillata*, karbon dioksida, *Pistia stratiotes*, ruang terbuka hijau.

Studies of Carbon Dioxide (CO₂) Ambient Air Uptake By Aquatic Plants Using Cumulative Concentration Value Indicator (Net-CO₂-Con)

Student Name : Rohmah Iftitah Sa'ïdatul Izzah
NRP : 03211440000029
Department : Environment Engineering
Supervisor : Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT.

ABSTRACT

Green Space Area is a green landscape at an area that occur naturally or intentionally planted with vegetation. The area of green space area in the city that is still inadequate to the goal target requires the development of green space area for waters territorial area due to limited land available. The river stream is the most potential area for green space area development because it contains rich nutrient that needed by aquatic plants to grow. In this study selected the stream of Kalimas River, Kalimas River is the largest river that divides the center of Surabaya. This study objective is to determine the ability of carbon dioxide uptake based on the type and size of aquatic plants.

The study was conducted at the greenhouse of the Department of Environmental Engineering ITS. Aquatic plants used are *Eichhornia crassipes* (water hyacinth), *Pistia stratiotes* (water lettuce), and *Hydrilla verticillata* (hydrilla). Each treatment of 3 (three) types of leaf shade area was 25%, 50%, and 75%. The study was conducted by measuring air carbon dioxide every hour for 13 hours (06.00 to 18.00). The parameters used are temperature and carbon dioxide concentration for 7 (seven) days. The measurement data of carbon dioxide concentration will be plotted into graph (Ct). The Ct concentration equation is differentiated to get conversion rate of carbon dioxide (dC / dt). Furthermore, conversion rate equation of carbon dioxide is integrated to obtain cumulative value of carbon dioxide concentration (Net-CO₂-Con).

The results showed that aquatic plants can be used to reduce CO₂ concentrations in air because they contain chlorophyll. Aquatic plants are able to reduce CO₂ through the process of

photosynthesis during the day at 11:00 to 14:00. Type of aquatic plants that able to absorb the most CO₂ is water lettuce with an absorption value of -207,30 ppmv. While aquatic plants that have least absorptive value is hydrilla plant with the value of absorption -56,47 ppmv. The more broader the plant on the surface of the water, the higher the absorption rate of CO₂. The addition of maximum absorption rate from plants is on water lettuce of -261,5 ppmv, then water hyacinth -196,67 ppmv, and the lowest occurring in hydrilla -145,69 ppmv.

Keyword : *Eichhornia crassipes*, *Hydrilla verticillata*, carbon dioxide, *Pistia stratiotes*, green space area.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT karena berkat rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Studi Serapan Karbon Dioksida (CO₂) Udara Ambien oleh Tumbuhan Air Menggunakan Indikator Nilai Kumulatif Konsentrasi (Net-CO₂-Con)”**. Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan pada program Strata-1 di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penyusunan laporan ini dapat terlaksana dengan baik berkat dukungan dari banyak pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini peneliti mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis, atas doa, motivasi, bimbingan serta materi yang telah diberikan tak terhingga kepada penulis hingga detik ini.
2. Departemen Lingkungan atas kerjasama selama penelitian berlangsung.
3. Bapak Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT., selaku dosen pembimbing, atas bimbingan, saran, dan motivasi yang diberikan.
4. Ibu Bieby Voijant Tangahu, ST, MT, Ph.D., Ibu Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph.D., dan Ibu Ir. Atiek Moesriati, Mkes., selaku dosen pengarah, atas bimbingan, saran, dan motivasi yang diberikan.
5. Ibu Harmin Sulistiyaning Titah, ST, MT, Ph.D., selaku koordinator tugas akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSLK ITS.
6. Aulia Rahman Farizky, Dewana Reyhan Naradipta, Janitra Primano Praja, Redo Fajar Renantho, Tyta Try Hardina, dan Febriandita Ashari atas bantuan, kerjasama, motivasi dan hiburan selama tugas akhir berlangsung.
7. Keluarga dan saudara-saudara penulis, atas doa dan motivasi yang diberikan.
8. Teman-teman L-32 Jurusan Teknik Lingkungan FTSLK ITS atas kerjasama dan motivasi yang diberikan.
9. Dan seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan, atas semua dukungan serta kerjasama yang diberikan.

Penulis menyadari Tugas Akhir ini tidak luput dari kekurangan. Penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan dan perbaikannya sehingga laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi bidang Teknik Lingkungan dan penerapan di lapangan serta bisa dikembangkan lebih lanjut pada penelitian selanjutnya.

Surabaya, Juni 2018

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I – PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Manfaat.....	4
BAB II – TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Karbon Dioksida	5
2.1.1 Sumber Karbon Dioksida	5
2.1.2 Komposisi dan Karakteristik Kimia	6
2.1.3 Siklus Karbon.....	7
2.2 Serapan Karbon Dioksida	8
2.2.1 Definisi Vegetasi	8
2.2.2 Fotosintesis.....	9
2.3 Faktor yang Mempengaruhi Laju Fotosintesis	12
2.4 Tumbuhan Air Penyerap Karbon Dioksida	13
2.4.1 Eceng Gondok (<i>Eichhornia crassipes</i>)	14
2.4.2 Kayu Apu (<i>Pistia stratiotes</i>)	15
2.4.3 Hydrilla (<i>Hydrilla verticillata</i>)	16
2.5 Nilai Kumulatif Konsentrasi CO ₂ (Net-CO ₂ -Con)	17
2.5.1 Konsentrasi CO ₂ (C)	17
2.5.2 Laju Perubahan Konsentrasi (K)	17
2.5.3 Nilai Kumulatif Konsentrasi CO ₂ (Net-CO ₂ -Con).....	18
2.6 Penelitian Terdahulu.....	19
BAB III – METODE PENELITIAN	21
3.1 Umum	21
3.2 Kerangka Penelitian	21
3.3 Metode Penelitian.....	23
BAB IV – HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Tahap Persiapan Tumbuhan	33

4.2 Pola Konsentrasi Karbon Dioksida	35
4.2.1 Tumbuhan Eceng Gondok	38
4.2.2 Tumbuhan Kayu Apu.....	40
4.2.3 Tumbuhan Hydrilla	41
4.3 Penetapan Nilai Kumulatif Konsentrasi	43
4.4 Uji Korelasi dan Regresi	48
4.5 Analisa Faktor yang Mempengaruhi Laju Fotosintesis	49
BAB V – KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	55
Daftar Pustaka	57
Lampiran	63
Biografi Penulis	99

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bentuk Ikatan Kimia Karbon Dioksida	6
Gambar 2.2 Siklus Karbon	7
Gambar 2.3 Reaksi Terang Fotosintesis.....	10
Gambar 2.4 Reaksi Gelap Fotosintesis.....	11
Gambar 2.5 Tumbuhan Eceng Gondok	15
Gambar 2.6 Tumbuhan Kayu Apu	16
Gambar 2.7 Tumbuhan Hydrilla	17
Gambar 2.8 Kurva Nilai Kumulatif Konsentrasi CO ₂	18
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian	21
Gambar 3.2 Pembagian Luas Naungan Daun pada Bak Tampak Atas	26
Gambar 3.3 CO ₂ Meter	27
Gambar 3.4 Segmen Ngagel-Taman Prestasi	28
Gambar 3.5 Lokasi Sampling Jalan Dinoyo, Surabaya	28
Gambar 4.1 Eceng Gondok (<i>E. crassipes</i>) Lebar 9 cm	33
Gambar 4.2 Kayu Apu (<i>P. stratiotes</i>) Lebar 7 cm	35
Gambar 4.3 Hydrilla (<i>H. verticillata</i>) Lebar 3 cm	35
Gambar 4.4 Pengukuran CO ₂ Menggunakan CO ₂ Meter	36
Gambar 4.5 Perubahan Konsentrasi CO ₂ Udara pada Reaktor Tumbuhan Eceng Gondok	38
Gambar 4.6 Perubahan Konsentrasi CO ₂ Udara pada Reaktor Tumbuhan Kayu Apu	40
Gambar 4.7 Perubahan Konsentrasi CO ₂ Udara pada Reaktor Tumbuhan Hydrilla	42
Gambar 4.8 Nilai KCO ₂ Udara pada Reaktor Eceng Gondok Setiap Variasi Luasan	45
Gambar 4.9 Nilai KCO ₂ Udara pada Reaktor Kayu Apu Setiap Variasi Luasan	46
Gambar 4.10 Nilai KCO ₂ Udara pada Reaktor Hydrilla Setiap Variasi Luasan	47

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Variabel Penelitian	26
Tabel 4.1 Ukuran Tumbuhan	33
Tabel 4.2 Jumlah Tumbuhan yang Digunakan	35
Tabel 4.3 Nilai Rata-Rata Pengukuran Konsentrasi CO ₂ ..	37
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Nilai KCO ₂	44
Tabel 4.5 Uji Korelasi Luas Tumbuhan Terhadap KCO ₂	48
Tabel 4.6 Tabel Regresi Luas Tumbuhan Terhadap KCO ₂	49
Tabel 4.7 Uji Signifikansi Luas Tumbuhan Terhadap KCO ₂	49

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A - Hasil Pengukuran Konsentrasi CO ₂ Selama 7 Hari	63
Lampiran B - Perhitungan Laju Perubahan Konsentrasi	71
Lampiran C - Grafik Laju Perubahan Konsentrasi	81
Lampiran D - Dokumentasi Pengamatan	87
Lampiran E - Data Intensitas Cahaya Matahari Kota Surabaya Maret-April 2018	95

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kawasan perkotaan merupakan pusat kegiatan yang dibebani oleh kegiatan manusia dan transportasi yang cukup padat (Raharjo, 2009). Kegiatan dan proses pembakaran yang terjadi akan menghasilkan gas CO₂ (karbon dioksida). Peningkatan konsentrasi gas CO₂ di udara dapat menyebabkan terjadinya peningkatan suhu global melalui efek rumah kaca. Upaya yang dapat dilakukan untuk menurunkan konsentrasi CO₂ di udara ambien dapat dilakukan dengan menambah ruang terbuka hijau.

Ruang terbuka hijau (RTH) merupakan area memanjang atau jalur dan atau mengelompok yang penggunaannya bersifat terbuka, tempat tumbuh tumbuhan, baik yang tumbuh secara alamiah maupun yang sengaja ditanam (Permen PU, 2008). Ruang terbuka hijau di wilayah perkotaan berfungsi sebagai kawasan hijau yang mempunyai peran sebagai penyeimbang antara ruang publik dengan kawasan terbangun. Fungsi utama RTH dalam penataan ruang adalah fungsi ekologis (hidrologi, klimatologi, biodiversitas) untuk keseimbangan ekosistem di wilayah perkotaan (Joga dan Iwan, 2011).

Kawasan RTH terdiri dari ruang terbuka non hijau, RTH privat, RTH publik dan sabuk hijau. Bentuk RTH meliputi hutan kota, jalur hijau, taman kota, dan penutup tanah yang umumnya ditumbuhi tumbuhan pohon, perdu, dan semak. Vegetasi adalah berbagai jenis tumbuhan yang menempati suatu ekosistem baik di darat maupun di perairan. Vegetasi yang digunakan untuk RTH adalah yang berwarna hijau karena mampu melakukan penyerapan CO₂ melalui proses fotosintesis.

Menurut Undang-Undang No. 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang, ketentuan target minimal RTH kota sebesar 30% dari total luas wilayahnya. Alasan utama yang menyebabkan target tersebut tidak terpenuhi seperti keterbatasan lahan, dana yang tersedia, dan harga tanah yang mahal (Joga dan Iwan, 2011). Salah satu alternatif untuk memenuhi target luas RTH adalah dengan menggunakan tumbuhan air untuk menyerap karbon dioksida. Setiap tumbuhan air memiliki kemampuan penyerapan karbon dioksida yang berbeda. Menurut Afdal (2007) penurunan

konsentrasi karbon dioksida dengan RTH terjadi melalui mekanisme fotosintesis. Ketiga tumbuhan yang dipilih merupakan tumbuhan yang memiliki zat hijau daun (klorofil) sehingga memiliki kemampuan untuk menurunkan CO_2 di udara. Pelepasan gas CO_2 ke udara ambien bersumber dari kegiatan aktivitas manusia, industri, kegiatan transportasi, dan degradasi bahan organik (Adita dan Naniek, 2013).

Tumbuhan air hidup di perairan yang sesuai dengan karakteristik masing-masing tumbuhan dan mengandung nutrisi utama yang dibutuhkan oleh tumbuhan untuk berkembang seperti N, P, dan K. Air sungai mengandung nutrisi yang cukup tinggi, bersumber dari limbah domestik, industri, serta nutrisi tanah yang terbawa aliran air. Nutrisi yang terkandung dalam air sungai dapat meningkatkan pertumbuhan tumbuhan. Wilayah perairan yang digunakan pada penelitian ini adalah Sungai Kali Mas, Surabaya. Sungai Kali Mas merupakan sungai yang membelah pusat Kota Surabaya, mengalir dari pintu air Ngagel dan bermuara di selat Madura.

Menurut Santoso dan Mangkoediharjo (2012), untuk mengetahui nilai serapan emisi karbon dioksida oleh tumbuhan dapat dilakukan dengan menggunakan perhitungan nilai kumulatif konsentrasi karbon dioksida udara ambien ($\text{Net_CO}_2\text{-Con}$). Nilai $\text{Net_CO}_2\text{-Con}$ adalah total konsentrasi karbon dioksida yang dapat ditetapkan dari data seri waktu (*time series*) pengukuran konsentrasi karbon dioksida. Hasil penelitian ini diharapkan terjadi reduksi konsentrasi karbon dioksida akibat adanya tumbuhan yang tumbuh pada permukaan air. Besar serapan karbon dioksida masing-masing tumbuhan dapat diketahui dengan menghitung luasan kurva nilai kumulatif konsentrasi karbon dioksida dengan analisa numerik.

1.2 Rumusan Masalah

Setiap tumbuhan mempunyai kemampuan yang berbeda dalam menyerap karbon dioksida. Tumbuhan air di perkotaan dapat dijadikan sebagai alternatif untuk menyerap karbon dioksida. Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kemampuan penyerapan karbon dioksida oleh tumbuhan air?

2. Bagaimana pengaruh jenis tumbuhan air dan kerapatan tumbuhan terhadap hasil penyerapan karbon dioksida?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah, penelitian tentang potensi serapan karbon dioksida oleh tumbuhan air memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Menghitung nilai serapan karbon dioksida melalui nilai kumulatif konsentrasi karbon dioksida ($\text{Net_CO}_2\text{-Con}$) tumbuhan air.
2. Menentukan pengaruh karakteristik tumbuhan air serta pengaruh lingkungan terhadap proses penyerapan karbon dioksida.

1.4 Ruang Lingkup

Penelitian ini dilakukan dengan batasan berdasarkan ruang lingkup yang mencakup:

1. Waktu penelitian dilakukan selama bulan Maret hingga April 2018.
2. Tumbuhan yang digunakan pada penelitian adalah *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, dan *Hydrilla verticillata*.
3. Lokasi perairan yang dipilih adalah aliran Sungai Kali Mas di daerah Jalan Dinoyo, Kota Surabaya.
4. Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah tiga jenis tumbuhan air dan variasi luas tutupan permukaan air (25%, 50%, 75% tutupan daun).
5. Tumbuhan yang digunakan adalah tumbuhan yang memiliki usia sama, dilihat dari karakteristik fisik ukuran daun.
6. Komponen yang diukur adalah konsentrasi CO_2 udara ambien dan suhu lingkungan menggunakan alat CO_2 meter.
7. Pengukuran konsentrasi karbon dioksida dilakukan setiap jam selama 13 jam (06.00-18.00) dengan pengulangan 7 kali.
8. Parameter karakteristik tumbuhan air yang dianalisa pada penelitian ini meliputi jenis tanaman dan letak posisi daun dibandingkan dengan permukaan air.
9. Parameter lingkungan yang dianalisa pada penelitian ini adalah suhu lingkungan.

10. Indikator yang digunakan untuk menentukan nilai serapan tumbuhan yakni dengan perhitungan nilai kumulatif konsentrasi karbon dioksida (Net_CO₂-Con).

1.5 Manfaat

Penelitian ini dilakukan dengan harapan agar dapat diperoleh informasi mengenai kemampuan serapan tumbuhan air untuk mereduksi gas karbon dioksida yang dihasilkan. Hasil data yang diperoleh diharapkan dapat menjadi acuan untuk pengembangan pembangunan RTH perairan di perkotaan. Pengembangan di wilayah perairan merupakan solusi akibat terbatasnya lahan yang dapat digunakan untuk perluasan ruang terbuka hijau sebagai upaya untuk mengurangi jumlah gas rumah kaca akibat aktivitas di perkotaan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karbon Dioksida

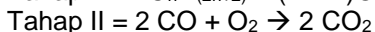
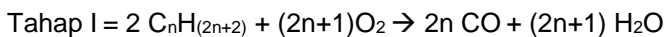
Karbon dioksida (CO₂) merupakan senyawa kimia yang terdiri dari dua atom oksigen yang berikatan secara kovalen dengan satu atom karbon. Gas CO₂ berbentuk gas pada suhu dan tekanan standar. Karbon dioksida memberikan kontribusi terbesar pada persen sumber gas rumah kaca. Menurut *Intergovernmental Panel on Climate Change* atau IPCC (2006), konsentrasi karbon dioksida di atmosfer cenderung mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Saat ini konsentrasi rata-rata karbon dioksida di permukaan bumi sebesar 387 ppm dimana angka tersebut dapat bervariasi tergantung waktu dan lokasi.

Konsentrasi karbon dioksida di udara segar bervariasi antara 360-390 ppm tergantung pada waktu dan lokasi. Menurut WHO, penilaian pencemaran udara berdasarkan beberapa parameter yang salah satunya adalah CO₂. WHO mengkategorikan udara dalam 2 golongan, pada kondisi udara bersih konsentrasi CO₂ adalah 310-330 ppm, sedangkan pada kondisi udara tercemar memiliki konsentrasi CO₂ 350-700 ppm (Mukono, 2007).

2.1.1 Sumber Karbon Dioksida

Sumber penghasil karbon dioksida dapat dibedakan berdasarkan kegiatan aktivitas manusia, yaitu industri sebesar 21% karbon dioksida ke atmosfer, industri energi yang melepaskan 36% karbon dioksida, kegiatan transportasi sebesar 27% karbon dioksida ke atmosfer, dan sisanya dari sumber lain (Adita dan Naniek, 2013).

Kegiatan transportasi merupakan sumber yang dominan di daerah perkotaan. Melalui pembakaran bahan bakar akan mengoksidasi karbon didalamnya menghasilkan CO₂. Menurut Kusminingrum (2008), dalam mesin kendaraan bermotor bahan bakar akan terkoksidasi sempurna menghasilkan H₂O dan CO₂ dengan reaksi seperti berikut:

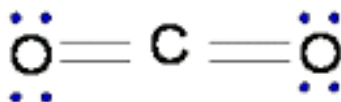


Aliran karbon untuk terdegradasi terbagi dalam dua arah, yaitu pengikatan CO₂ oleh atmosfer dan kemudian hilang akibat terdekomposisi serta adanya penyerapan oleh tumbuhan. Karbon dioksida di udara secara alami berasal dari emisi gunung berapi dan aktivitas mikroba dalam tanah (perombakan bahan organik) dan respirasi tumbuhan serta hasil pernapasan manusia. Selain itu, gas ini juga berasal dari pembakaran bahan bakar minyak dan gas yang banyak di perkotaan.

Menurut Dahlan (2007), keberadaan karbon dioksida juga terdapat dalam bentuk molekul bebas (CO₂) yang berada di perairan, ion bikarbonat (HCO₃⁻), ion karbonat (CO₃²⁻), dan asam karbonat (H₂CO₃). Perairan air tawar alami hampir tidak pernah memiliki pH > 9 sehingga tidak ditemukan karbon dalam bentuk karbonat. Pada air tanah, kadar karbonat biasanya sekitar 10 mg/liter karena sifat air tanah yang cenderung alkalis (Afandi, 2009).

2.1.2 Komposisi dan Karakteristik Kimia

Karbon dioksida dengan rumus kimia CO₂ merupakan senyawa kimia dengan 2 atom oksigen yang berikatan dengan 1 atom karbon. Karbon dioksida pada kondisi standar berada dalam wujud gas di atmosfer. Molekul karbon dioksida mengandung dua ikatan rangkap dan memiliki bentuk linier. Karbon dioksida tidak memiliki listrik dipole sehingga dapat teroksidasi sepenuhnya, cukup reaktif, tidak mudah terbakar namun dapat digunakan untuk membantu pembakaran logam.



Gambar 2.1 Bentuk Ikatan Kimia Karbon Dioksida

Sumber : Sugiarto, 2004

Karbon dioksida merupakan senyawa yang tidak berwarna dan tidak berbau pada konsentrasi yang rendah. Karbon dioksida bersifat asam oksida, ketika konsentrasinya melebihi konsentrasi normal akan terasa asam dan menyengat saat terhirup. Pada konsentrasi 1% lebih tinggi dari normal dapat menyebabkan kantuk, konsentrasi 7% - 10% dapat menyebabkan pusing, sakit

kepala, mual, gangguan mata, dan kehilangan kesadaran. Karakteristik kimia karbon dioksida menurut Susanty (2014) adalah:

Titik lebur = -78°C

Titik didih = -57°C

Kelarutan = 1,45 gram/liter (pada suhu 25°C , tekanan 100 kPa)

Keasaman = 6,35 – 10,33

Viskositas = 0,07

Pada tekanan 1 atmosfer dan suhu di bawah -78°C karbon dioksida berada dalam fase padatan, sedangkan pada suhu di atasnya akan menyublim. Fase cair karbon dioksida hanya terbentuk pada tekanan 5,1 atmosfer.

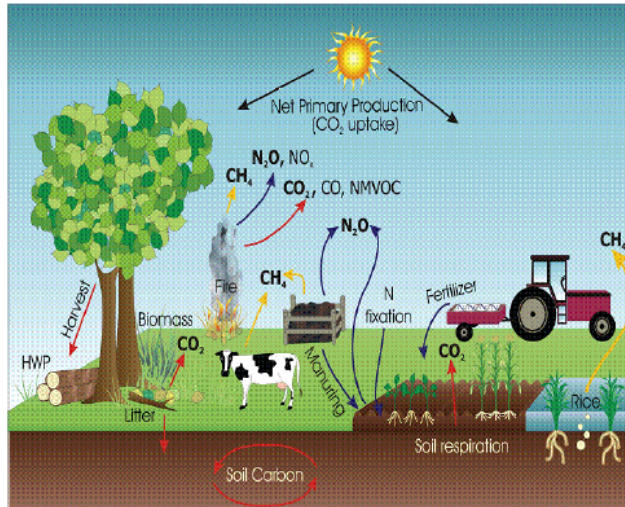
2.1.3 Siklus Karbon

Karbon merupakan unsur dasar penyusun makhluk hidup sehingga disebut sebagai senyawa organik. Pergerakannya di dalam suatu ekosistem bersamaan dengan aliran energi pada rantai makanan serta proses kimiawi yang berlangsung pada makhluk hidup. Karbon terdapat dalam bentuk gas berasosiasi dengan oksigen membentuk karbon dioksida (CO_2) dan karbon monoksida (CO).

Karbon tersimpan dalam bumi berbentuk makhluk hidup (hewan dan tumbuhan), bahan organik mati, dan sedimen. Secara alami, pelepasan karbon ke atmosfer disebut emisi dan terjadi melalui mekanisme respirasi makhluk hidup, dekomposisi bahan organik, serta pembakaran. Gambar siklus karbon dapat dilihat pada Gambar 2.2.

1. Respirasi, merupakan reaksi pembakaran yang berlangsung pada semua organisme. Memerlukan senyawa karbon kompleks (glukosa) yang merupakan hasil fotosintesis tumbuhan.
2. Fotosintesis, hanya dilakukan oleh organisme berklorofil (tumbuhan, alga). Reaksi fotosintesis memerlukan senyawa karbon yang terdapat di atmosfer (dalam bentuk karbon dioksida) untuk membentuk senyawa karbon yang lebih kompleks yang merupakan sumber energi yang dibutuhkan oleh organisme hidup. Senyawa karbon di atmosfer berasal dari

berbagai proses biotik (respirasi, penguraian) maupun dari proses abiotik (pembakaran).



Gambar 2.2 Siklus Karbon

Sumber : Samiaji, 2011

3. Penguraian (dekomposisi) dapat dilakukan organisme pengurai (dekomposer), yaitu bakteri dan juga jamur. Karbon dapat berpindah dari suatu komponen abiotik ke komponen biotik, dan komponen biotik satu ke komponen biotik lainnya melalui rantai makanan. Perpindahan senyawa karbon dalam siklus ini terjadi sangat lama.
4. Pembakaran kayu serta bahan bakar fosil merupakan penyumbang senyawa karbondioksida yang paling cepat ke atmosfer.

2.2 Serapan Karbon Dioksida

2.2.1 Definisi Vegetasi

Vegetasi dalam ekologi adalah istilah untuk keseluruhan komunitas tumbuhan. Vegetasi merupakan bagian hidup yang tersusun dari tetumbuhan yang menempati suatu ekosistem. Beraneka tipe hutan, kebun, padang rumput, dan tundra merupakan contoh-contoh vegetasi. Vegetasi terdiri dari tumbuh-

tumbuhan yang hidup bersama pada suatu tempat, biasanya terdiri dari beberapa jenis berbeda. Tumbuhan adalah semua jenis sumber daya alam nabati, baik yang hidup di darat maupun di air.

2.2.2 Fotosintesis

Fotosintesis merupakan proses penyusunan karbohidrat atau zat gula dengan menggunakan energi matahari. Matahari sebagai sumber energi utama bagi kehidupan di bumi. Namun tidak semua organisme mampu secara langsung menggunakannya. Hanya golongan tumbuhan dan beberapa jenis bakteri saja yang mampu menyerap energi matahari dan memanfaatkannya untuk fotosintesis. Melalui fotosintesis tumbuhan menyusun zat makanan yaitu karbohidrat (pati / gula), sehingga tumbuhan disebut organisme autotrof. Tempat fotosintesis adalah daun yang memiliki sel-sel yang menjadi kelengkapan alat untuk menangkap energi matahari. Reaksi fotosintesis dapat dilihat pada persamaan berikut ini:



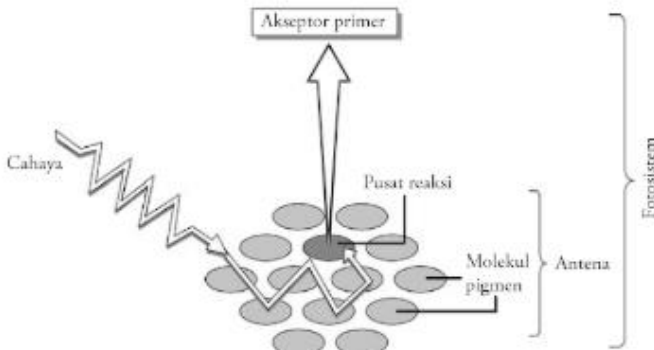
Tumbuhan membutuhkan CO_2 untuk pertumbuhannya. Peningkatan konsentrasi CO_2 di atmosfer merangsang proses fotosintesis, meningkatkan pertumbuhan tumbuhan dan produktivitasnya tanpa diikuti oleh peningkatan kebutuhan air (transpirasi). Fotosintesis umumnya terjadi pada semua tumbuhan hijau yang memiliki kloroplast atau pada semua tumbuhan yang memiliki zat warna. Secara umum proses fotosintesis adalah pengikatan gas karbon dioksida (CO_2) dari udara dan molekul air (H_2O) dari tanah dengan bantuan energi foton cahaya tampak yang ditangkap oleh klorofil, membentuk gula heksosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) dan gas oksigen (O_2) (Kusminingrum, 2008).

2.2.2.1 Proses Fotosintesis

Proses fotosintesis terjadi dalam 2 reaksi, yakni reaksi gelap dan reaksi terang. Reaksi terang merupakan proses yang bergantung pada cahaya matahari langsung, namun molekul energi cahaya tersebut belum bisa digunakan sehingga harus dikonversi. Konversi energi cahaya menjadi energi kimia dilakukan oleh pigmen daun (klorofil) (Utomo, 2007). Pada reaksi terang, cahaya matahari akan membentur klorofil-a untuk membangkitkan elektron pada tingkatan yang lebih tinggi. Reaksi terang terjadi dalam grana, proses yang terjadi menurut Karmana (2008) adalah:

1. Fotolisis air, penguraian H_2O menjadi H_2 dan O_2

2. Fosforilasi fotosintesis, pembentukan ATP dan NADPH
3. Fotosistem I dan II menjadi aktif



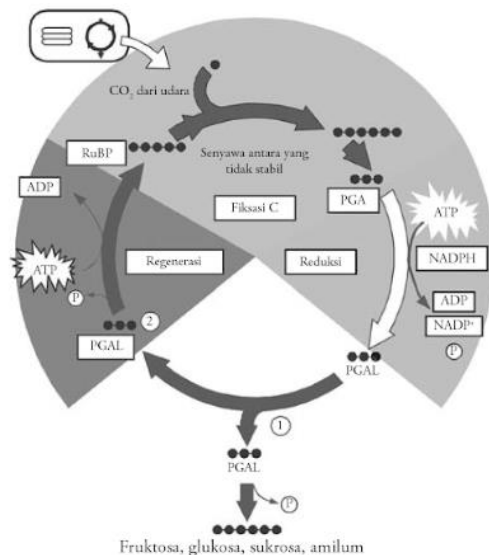
Gambar 2.3 Reaksi Terang Fotosintesis

Sumber : Karmana, 2008

Proses yang kedua adalah proses yang tidak membutuhkan cahaya, disebut dengan reaksi gelap. Pada proses ini, CO_2 atmosfer ataupun CO_2 dalam air ditangkap dan dimodifikasi oleh penambahan hidrogen menjadi bentuk karbohidrat. Reaksi gelap terjadi apabila energi *carrier* dari proses terang tersedia. Reaksi gelap terjadi pada stroma kloroplas (Utomo, 2007).

Berdasarkan Karmana (2008), proses yang terjadi pada Gambar 2.4 adalah:

1. Fase fiksasi, CO_2 akan berdifusi dari udara masuk ke dalam daun dan diikat oleh RuBP dan PGA
2. Fase reduksi, PGA mengalami reduksi oleh NADPH dan mengalami penambahan fosfat dari hasil reaksi terang. Kemudian terbentuk PGAL yang akan diubah menjadi salah satu dari fruktosa, glukosa, atau amilum
3. Fase regenerasi, RuBP kembali terbentuk.



Gambar 2.4 Reaksi Gelap Fotosintesis

Sumber : Karmana, 2008

2.2.2.2 Titik Kompensasi dan Saturasi Fotosintesis

Kecepatan fotosintesis netto pada tumbuhan meningkat dengan adanya peningkatan intensitas cahaya, maka suatu saat akan terjadi peningkatan fotosintesis tanpa diikuti oleh peningkatan pengikatan CO_2 dalam proses fotosintesis. Apabila intensitas meningkat, maka suatu saat akan dicapai keseimbangan antara hilangnya CO_2 pada respirasi dan CO_2 yang diikat pada proses fotosintesis. Pencapaian kondisi ini terjadi pada titik kompensasi. Intensitas cahaya yang terus meningkat akan menyebabkan penurunan kecepatan fotosintesis sampai tercapai titik saturasi. Sehingga titik saturasi adalah titik dimana peningkatan intensitas cahaya hanya menghasilkan sedikit atau tidak ada pengikatan CO_2 .

Setiap jenis tumbuhan menunjukkan titik saturasi dan titik kompensasi yang berbeda, tergantung toleransi tumbuhan tersebut terhadap variasi intensitas cahaya yang diterima.

2.3 Faktor yang Mempengaruhi Laju Fotosintesis

Berdasarkan kurva laju fotosintesis Xu dan Shen (1997) dalam Susanty (2014), laju puncak fotosintesis terjadi pada jam 12 siang jika tidak ada gangguan awan. Konsentrasi CO₂ udara ambien dan kadar air tanah akan mempengaruhi laju fotosintesis. Faktor yang mempengaruhi laju dan efisiensi fotosintesis menurut Lakitan dalam Sinambela (2006) dan Karmana (2008) adalah sebagai berikut:

A. Faktor Hereditas

Faktor hereditas merupakan faktor yang paling menentukan terhadap aktivitas fotosintesis. Setiap tumbuhan memiliki kebutuhan yang berbeda. Tumbuhan yang berbeda jenis memiliki perbedaan aktivitas fotosintesis yang disebabkan oleh perbedaan faktor genetik dan hereditasnya.

1. Umur dan Struktur Daun

Daun adalah organ fotosintesis utama bagi tumbuhan, meskipun batang yang berwarna hijau juga melakukan fotosintesis (Bowo *et al.*, 2011). Luas daun berkaitan dengan kapasitas penyerapan cahaya. Cahaya yang diserap daun digunakan untuk sintesis klorofil yang kemudian dirubah menjadi energi kimia pada proses fotosintesis. Perbedaan warna pada daun dapat digunakan untuk membandingkan daun yang masih muda dan daun dewasa. Daun yang muda berwarna hijau muda keputih-putihan, sedangkan daun tua berwarna hijau tua. Kemampuan daun untuk melakukan fotosintesis meningkat pada fase awal perkembangan daun, kemudian menurun. Luas daun berpengaruh terhadap kapasitas penangkapan cahaya.

2. Laju Translokasi Fotosintat

Laju translokasi merupakan kecepatan fotosintat untuk berpindah menuju bagian lain tumbuhan. Tumbuhan akan memiliki laju fotosintesis tinggi apabila laju translokasinya tinggi. Tumbuhan yang terhambat translokasi fotosintatnya memiliki akar yang lebih kecil, jumlahnya sedikit dan tersusun dari sel yang berdinding tipis. Ruas batang tumbuhan lebih panjang tersusun dari sel-sel berdinding tipis, ruang antar sel lebih besar, jaringan pengangkut dan penguat lebih sedikit. Daun lebih tipis dan ukuran stomata lebih besar, sel epidermis

tipis, tetapi jumlah daun lebih sedikit, ruang antar sel lebih banyak (Haryanti, 2008).

B. Faktor Lingkungan

Aktivitas fotosintesis juga dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan seperti berikut:

1. Intensitas Cahaya dan Lama Penyinaran

Cahaya sebagai sumber energi untuk reaksi anabolik fotosintesis. Fiksasi CO_2 maksimum terjadi di sekitar tengah hari saat intensitas cahaya mencapai puncaknya. Unsur radiasi matahari yang penting salah satunya adalah intensitas cahaya. Adanya penutupan cahaya juga berpengaruh terhadap laju fotosintesis. Cahaya yang redup akan mengakibatkan lambatnya laju fotosintesis, sehingga dapat menghambat proses pertumbuhan salah satunya adalah penambahan luas daun.

2. Ketersediaan CO_2

Kecepatan fotosintesis meningkat dengan meningkatnya konsentrasi CO_2 intraseluler. Penambahan konsentrasi CO_2 menyebabkan tingkat pembukaan stomata semakin meningkat sehingga mempengaruhi laju fotosintesis.

3. Suhu

Peningkatan suhu akan meningkatkan laju fotosintesis. Pengaruh suhu tergantung pada spesies dan kondisi tumbuhnya. Suhu optimum untuk fotosintesis adalah setara dengan suhu siang pada asal tumbuhan tersebut.

4. Ketersediaan Air

Pengaruh air terhadap tumbuhan adalah dalam aktivitas buka tutup pada stomata. Tumbuhan yang kekurangan air akan mengalami kerusakan pada peralatan fotosintesisnya.

2.4 Tumbuhan Air Penyerap Karbon Dioksida

Tumbuhan yang dapat digunakan sebagai tumbuhan untuk fitoremediasi umumnya memiliki karakteristik sebagai berikut:

- Mampu beradaptasi dan toleran terhadap polutan
- Pertumbuhan cepat
- Tumbuh besar dan sistem perakaran yang dalam
- Akumulator dan pendegradasi yang baik

- *Evergreen* (hijau sepanjang tahun)
- Membutuhkan air yang sedikit
- Minim perawatan
- Menyerap polutan dan debu secara maksimal

2.4.1 Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)

Eceng gondok adalah salah satu jenis tumbuhan air mengapung. Eceng gondok memiliki kecepatan tumbuh yang tinggi sehingga tumbuhan ini dianggap sebagai gulma yang dapat merusak lingkungan perairan. Eceng gondok dengan mudah menyebar melalui saluran air ke badan air lainnya.

Eceng gondok hidup mengapung di air dan kadang-kadang berakar dalam tanah. Tingginya sekitar 0,4 - 0,8 meter. Daunnya tunggal dan berbentuk oval. Ujung dan pangkalnya meruncing, pangkal tangkai daun menggelembung. Permukaan daunnya licin dan berwarna hijau. Bunganya termasuk bunga majemuk, berbentuk bulir, kelopaknya berbentuk tabung. Bijinya berbentuk bulat dan berwarna hitam. Buahnya kotak beruang tiga dan berwarna hijau. Akarnya merupakan akar serabut. Kecepatan pertumbuhan eceng gondok mencapai 3,69% berat basah per hari (Haryanti, 2006).



Gambar 2.5 Tumbuhan Eceng Gondok

Eceng gondok tumbuh di kolam-kolam dangkal, tanah basah dan rawa, aliran air yang lambat, danau, tempat penampungan air dan sungai. Tumbuhan ini dapat beradaptasi dengan perubahan yang ekstrim dari ketinggian air, arus air, dan

perubahan ketersediaan nutrisi, pH, temperatur dan racun-racun dalam air. Pertumbuhan eceng gondok yang cepat terutama disebabkan oleh air yang mengandung nutrisi yang tinggi (Hartanti *et al.*, 2012). Klasifikasi eceng gondok adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Liliopsida
Ordo	: Commelinales
Famili	: Pontederiaceae
Genus	: Eichhornia Kunth
Spesies	: <i>Eichhornia crassipes</i>

2.4.2 Kayu apu (*Pistia stratiotes*)

Kayu apu merupakan tumbuhan air yang biasa dijumpai mengapung di perairan tenang atau kolam. Ia juga populer sebagai tumbuhan pelindung akuarium. Tumbuhan ini adalah satu-satunya anggota marga *Pistia*. Asal tumbuhan ini diketahui menyebar di seluruh wilayah tropika dan subtropika. Menurut Schmitz *et al.*, (1993) dalam Odjegba (2004) *water lettuce* atau kayu apu merupakan tumbuhan yang termasuk dalam famili Araceae, termasuk tumbuhan monokotil dan merupakan tumbuhan air terapung. Daun tumbuhan ini berbentuk melingkar (roset), berwarna hijau, berbulu, dan tebal. Sistem perakarannya mampu menjangkau hingga dasar perairan.



Gambar 2.6 Tumbuhan Kayu Apu

Tumbuhan ini merupakan spesies tumbuhan yang ideal untuk meremediasi lingkungan yang tercemar logam karena dapat

tumbuh dengan cepat, merupakan tumbuhan dengan biomassa tinggi dan sistem perakaran yang panjang sehingga mampu bertahan dan mengakumulasi kontaminan (Odjegba, 2003). Klasifikasi kayu apu adalah sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
Divisi : Angiospermae
Kelas : Monokotil
Ordo : Alismatales
Famili : Araceae
Genus : Pistia L.
Spesies : *Pistia stratiotes*

2.4.3 Hydrilla (*Hydrilla verticillata*)

Hydrilla verticillata merupakan tumbuhan air yang hidup di kolam maupun danau dengan daun yang kecil berwarna hijau karena mengandung klorofil. *Hydrilla verticillata* merupakan tumbuhan air yang tumbuh terus-menerus, hidup berkoloni dan dapat tumbuh di permukaan air hingga kedalaman 20 kaki. Tumbuhan air *Hydrilla verticillata* dapat tumbuh bercabang-cabang dengan banyak hingga mencapai permukaan air dimana percabangannya dapat menutupi seluruh permukaan air. *Hydrilla verticillata* digunakan sebagai habitat untuk beberapa hewan avertebrata dimana hewan-hewan tersebut digunakan untuk makanan ikan dan spesies lain (Handoko dan Yunie, 2008).



Gambar 2.7 Tumbuhan Hydrilla

Hydrilla verticillata merupakan jenis tumbuhan yang mampu dijadikan sebagai bioindikator lingkungan. Keunggulan

Hydrilla verticillata sebagai bioindikator adalah mudah mendapatkannya, biaya operasional yang rendah, tidak memerlukan nutrisi tambahan, dapat tumbuh dalam kondisi cahaya rendah, biomassa tinggi dan pertumbuhan yang cepat (Andreyanto et al., 2016). Klasifikasi hydrilla adalah sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
 Divisi : Spermatophyta
 Kelas : Monocotyledoneae
 Ordo : Helobiae (Alismatales)
 Family : Hydrocharitaceae
 Genus : Hydrilla
 Species : *Hydrilla verticillata*

2.5 Nilai Akumulasi Konsentrasi CO₂ (Net-CO₂-Con)

Pengukuran fluk CO₂ dan konsentrasi CO₂ dilakukan oleh Isabella Van Dame pada bulan Mei sampai awal Juli 2010 dalam Santoso dan Mangkoediharjo (2012), menunjukkan hasil bahwa konsentrasi CO₂ mengalami fluktuasi sesuai dengan nilai fluk CO₂. Pukul 0.00-5.00 nilai fluk positif, artinya nilai konsentrasi meningkat. Pukul 5.00-11.00 nilai fluk negatif, artinya nilai konsentrasi menurun. Pukul 11.00-14.00 nilai fluk konstan negatif, artinya konsentrasi mengalami penurunan tapi dengan nilai kecil. Pukul 14.00-18.00 nilai fluk tetap negatif tapi mengalami penurunan. Pukul 18.00-24.00 nilai fluk positif, artinya konsentrasi mengalami kenaikan.

2.5.1 Konsentrasi CO₂ (C)

Konsentrasi CO₂ di udara ambien dengan satuan ppmV atau ppm adalah perbandingan antara volume CO₂ dengan volume udara ambien sesaat. Bila diinginkan dengan satuan berbeda misalnya menjadi mg/liter harus dilakukan konversi. Konsentrasi CO₂ di udara ambien tiap saat berbeda, karena resultan dari proses yang kompleks. Persamaan dapat dilihat pada persamaan 2.1.

$$C = f(t) \quad \& \quad C = f(x,y,z) \dots\dots\dots (2.1)$$

2.5.2 Laju Perubahan Konsentrasi CO₂ (K)

Laju konsentrasi untuk satu selang waktu (K) adalah perbedaan konsentrasi yang terjadi untuk satu selang waktu. Nilai

K sesaat diperoleh dari deferensi persamaan fungsi waktu (persamaan 2.1), konsentrasi terhadap waktu, dengan persamaan:

$$K = \Delta C / \Delta t = dC/dt \dots\dots\dots (2.2)$$

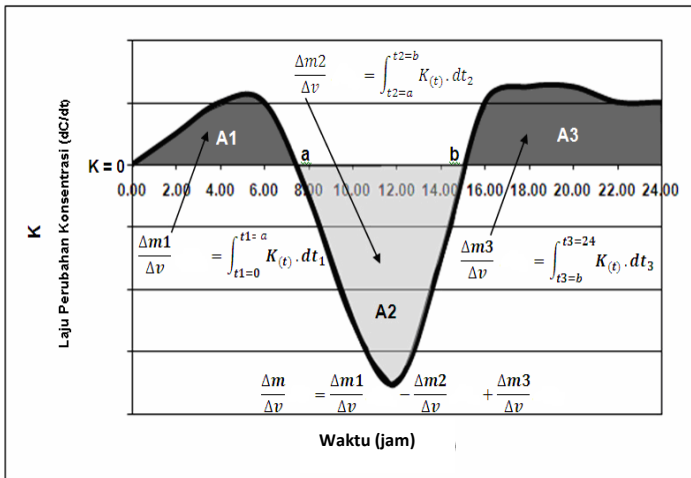
Bila nilai K bertanda positif, artinya terjadi peningkatan konsentrasi CO₂ udara ambien. Nilai K bertanda negatif, artinya terjadi penurunan konsentrasi CO₂.

2.5.3 Nilai Kumulatif Konsentrasi CO₂ (Net-CO₂-Con)

Nilai kumulatif konsentrasi CO₂ dalam satu rentang waktu (Δt), didapatkan dari integrasi terhadap waktu (t) dari persamaan laju perubahan konsentrasi CO₂ (pers 2.2), dengan persamaan:

$$\text{Net-CO}_2\text{-Con} = \int K \cdot dt \dots\dots\dots (2.3)$$

Nilai kumulatif massa tiap volume udara ambien ($\Delta m/\Delta v$) atau kumulatif konsentrasi setara dengan luasan antara Kurva $K=f(t)$ dengan garis $K=0$. Digunakan metode numerik (Chapra, 2002) untuk menghitung luas antara kurva $K=f(t)$ dengan garis $K=0$ (Santoso dan Mangkoedihardjo, 2012).



Gambar 2.8 Kurva Nilai Kumulatif Konsentrasi CO₂

Sumber : Santoso dan Mangkoedihardjo, 2012

2.6 Penelitian Terdahulu

Menurut Andaru (2017) saat ini luas RTH publik yang dimiliki Surabaya sudah sekitar 20,25 % dari 30% luas RTH yang wajib dimiliki. Hasil penelitian didapatkan bahwa emisi CO₂ yang dihasilkan dari sektor permukiman dan transportasi di Kota Surabaya adalah sebesar 28,917 kg/detik. Kemampuan penyerapan emisi dihasilkan dari kegiatan perkotaan, RTH di Kota Surabaya belum cukup efektif dalam menyerap emisi CO₂ yang ada. Diperlukan tambahan sekitar 68,73 Ha lagi.

Tumbuhan air dapat digunakan untuk mereduksi kandungan nitrat, fosfat, dan logam berat dengan menggunakannya sebagai nutrisi. Eceng gondok dan kayu apu digunakan karena memiliki kecepatan pertumbuhan yang tinggi (*high growth rates*) dan mampu tumbuh pada kondisi lingkungan kaya nutrisi seperti air yang mengandung limbah domestik (Zimmels *et al.*, 2006).

Hydrilla mempunyai kemampuan untuk menurunkan kadar TSS dan sangat bermanfaat dalam proses pengolahan air limbah. Tumbuhan air dapat menyerap unsur-unsur pencemar sebagai nutrisi, atau secara tidak langsung dengan menyediakan tempat tumbuh bagi mikroorganisme yang akan mengurai zat pencemar serta memasok oksigen untuk proses penguraian aerobik (Rahmawati *et al.*, 2017).

Tumbuhan eceng gondok dan hydrilla memiliki kemampuan untuk menghasilkan eksudat yang mampu menurunkan pH pada air tercemar limbah domestik (*grey water*). pH netral merupakan pH yang paling baik untuk remediasi karena pada pH netral terjadi reaksi remediasi yang optimal (Kalsum *et al.*, 2014). Menurut Ajayi dan Ogunbayo (2011), pengurangan kontaminan dalam air limbah berlangsung optimal pada kisaran pH 5,4-7,0.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODE PENELITIAN

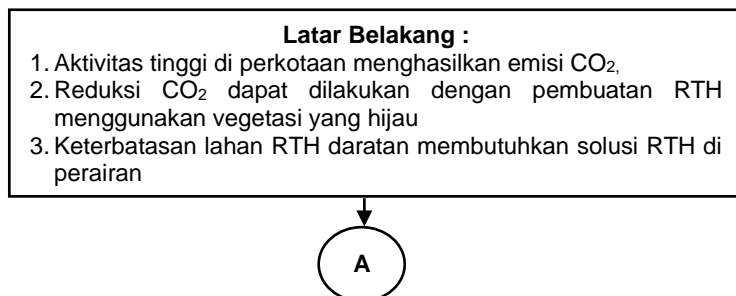
3.1 Umum

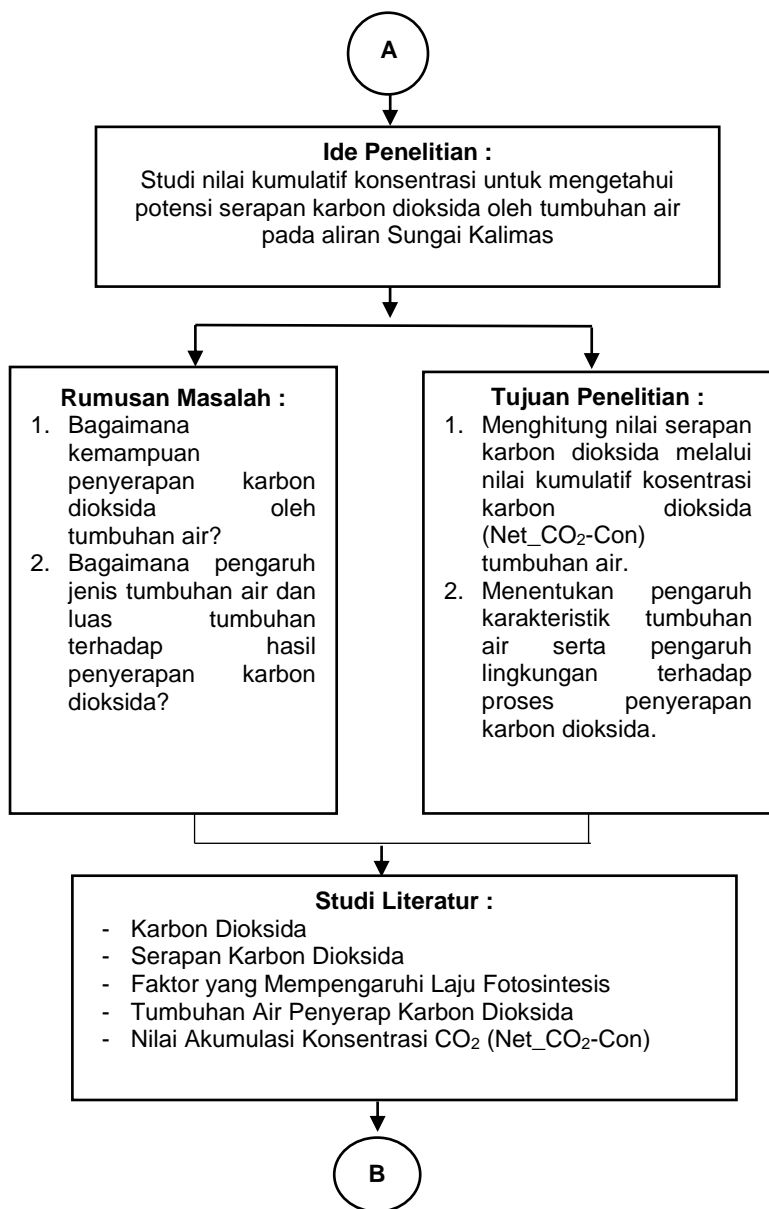
Penelitian ini dilaksanakan di *greenhouse* Departemen Teknik Lingkungan ITS. Studi kemampuan tumbuhan air dalam menyerap gas karbon dioksida yang ditentukan berdasarkan hasil nilai kumulatif konsentrasi karbon dioksida (Net_CO₂-Con) data seri waktu konsentrasi selama 13 jam. Nilai Net_CO₂-Con bertanda negatif bila terjadi serapan, sebaliknya bertanda positif bila terjadi emisi.

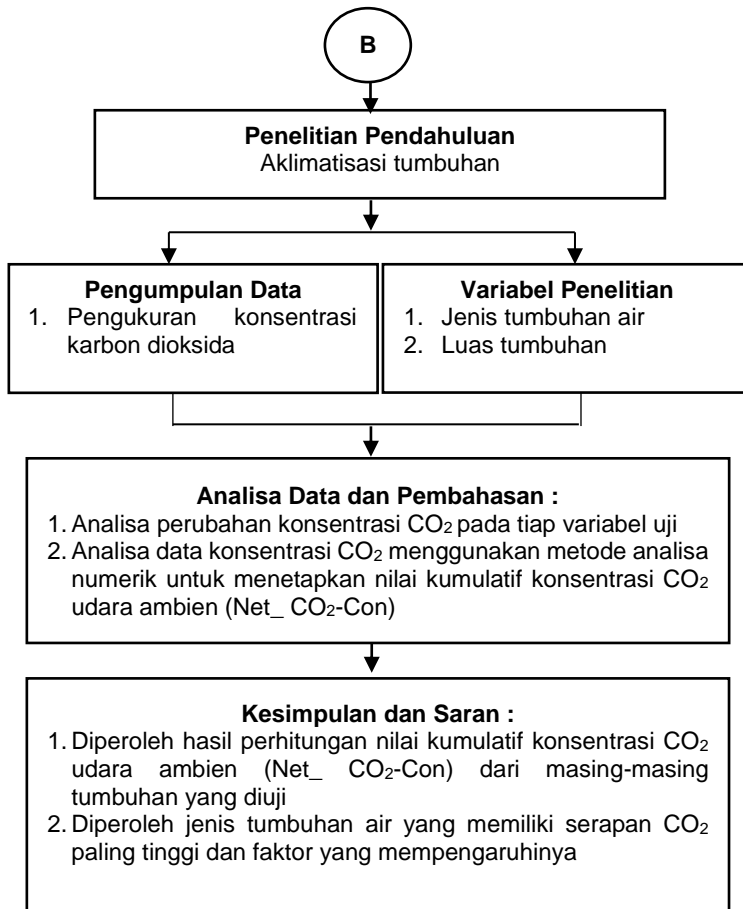
Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis tumbuhan air dan luas permukaan yang tertutup tumbuhan. Parameter yang diuji adalah perubahan konsentrasi karbon dioksida.

3.2 Kerangka Penelitian

Dalam melaksanakan penelitian ini terdapat kerangka penelitian yang digunakan sebagai acuan dalam melaksanakan penelitian. Kerangka acuan disusun berdasarkan pemikiran akan suatu permasalahan yang digunakan sebagai ide penelitian. Metode penelitian disusun agar dapat mencapai tujuan dari penelitian yang akan dilaksanakan. Adapun kerangka penelitian secara keseluruhan dari Tugas Akhir ini digambarkan pada Gambar 3.1.







Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

3.3 Metode Penelitian

Berikut ini adalah penjelasan dari kerangka penelitian diatas. Metode penelitian ini akan menjadi pedoman pelaksanaan penelitian tugas akhir ini.

A. Ide Penelitian

Aktivitas manusia di perkotaan menghasilkan banyak emisi karbon dioksida. Salah satu upaya yang dapat dilakukan

adalah mereduksi sumber pencemar (CO_2) dengan ruang terbuka hijau. Target luas RTH perkotaan adalah sebesar 30% luas wilayah kota. Namun permasalahan perluasan RTH terjadi pada kendala keterbatasan lahan, sehingga perlu dikembangkan RTH perairan. Belum diketahui efektifitas nilai serapan tumbuhan air dalam mereduksi CO_2 yang dihasilkan.

B. Studi Literatur

Sumber literatur yang digunakan adalah berupa jurnal internasional, jurnal nasional, makalah seminar, dan *text book* yang berhubungan dengan penelitian. Hal-hal yang akan dipelajari dalam studi literatur antara lain:

1. Karbon Dioksida
2. Serapan Karbon Dioksida
3. Faktor yang Mempengaruhi Laju Fotosintesis
4. Tumbuhan Air Penyerap Karbon Dioksida
5. Nilai Akumulasi Konsentrasi CO_2 (Net_ CO_2 -Con)

C. Penelitian Pendahuluan

1. Tumbuhan yang digunakan pada penelitian ini dipilih berdasarkan ukuran rata-rata pada usia eksponensialnya sehingga setiap tumbuhan memiliki ukuran dan usia yang relatif sama. Karakter tumbuhan pada usia eksponensial yang digunakan untuk penelitian adalah sebagai berikut:
 - Eceng gondok memiliki kecepatan pertumbuhan tinggi memasuki usia 15 hari, memiliki lebar daun 8-9 cm, dan tinggi 25 cm (Sibarani, 2015).
 - Kayu apu yang digunakan berusia 13-15 hari dengan ukuran diameter tumbuhan 6-10 cm dan jumlah daun 5 hingga 7 lembar (A'yun, 2015).
 - Hydrilla hidup bergerombol atau berkoloni. Tumbuhan yang dipilih yang berusia 15-20 hari dengan ciri fisik lebar tumbuhan 3-4 cm dan panjang 20-30 cm (Kalsum et al., 2014).
2. Aklimatisasi, dilakukan untuk memberikan kesempatan untuk tumbuhan beradaptasi dengan lingkungan penelitian yakni air sungai. Waktu yang dibutuhkan tumbuhan untuk tahap aklimatisasi pada penelitian terdahulu selama 3-7 hari. Aklimatisasi tumbuhan eceng gondok dan kayu apu pada penelitian sebelumnya dilakukan selama 3 (tiga) hari

dengan meletakkan tumbuhan pada media yang akan digunakan pada penelitian (Kalsum et al., 2014).

D. Variabel Penelitian

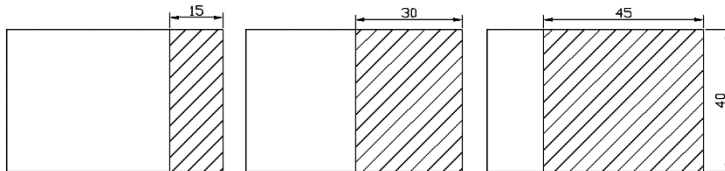
Pada penelitian ini digunakan 2 (dua) jenis variabel yakni:

1. Jenis tumbuhan yang digunakan adalah eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), kayu apu (*Pistia stratiotes*), serta hydrilla (*Hydrilla verticillata*). Alasan pemilihan ketiga jenis tumbuhan ini antara lain:
 - Eceng gondok dan hydrilla memiliki kemampuan untuk beradaptasi pada lingkungan air sungai dengan pencemaran utama limbah domestik (Kalsum et al., 2014).
 - Eceng gondok dan kayu apu mampu mendegradasi polutan (Hariyanti, 2016). Hydrilla banyak digunakan untuk fitoremediasi dengan mengakumulasi logam berat kromium (Sholeh dan Griyanitasari, 2016).
 - Eceng gondok dan kayu apu memiliki kecepatan pertumbuhan yang tinggi (*high growth rates*) dan mampu tumbuh pada kondisi lingkungan kaya nutrisi seperti air yang mengandung limbah domestik (Zimmels et al., 2006).
 - Tumbuhan berklorofil memiliki ciri berwarna hijau dan dapat melakukan penyerapan karbon dioksida (fotosintesis) (Rachmawati, 2012).
2. Luas tumbuhan pada reaktor
 - Ditentukan dari luas naungan tumbuhan terhadap permukaan air. Berdasarkan penelitian Miharza et al. (2015) ada 4 (empat) perlakuan variasi naungan, yaitu naungan 25%, naungan 50%, naungan 75%, dan naungan 100%. Namun pada penelitian ini tidak dilakukan pengamatan untuk naungan 100% karena permukaan yang air tertutup tumbuhan seluruhnya dapat menyebabkan penurunan konsentrasi DO air sungai.
 - Pada penelitian ini menggunakan media bak plastik dengan ukuran 65 x 45 cm (luas permukaan 0,29 m²) sehingga luas tutupan daun pada permukaan air dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Gambar 3.2.

- Reaktor menggunakan bak plastik persegi panjang dengan sistem *batch* dengan volume yang digunakan 20 liter air tiap bak reaktor.
- Terdapat 1 variabel kontrol dalam bak dengan ukuran sama yang berisi air sungai tanpa diberi perlakuan tumbuhan dan naungan. Sehingga total jumlah bak plastik reaktor yang dibutuhkan sebanyak 10 buah.

Tabel 3.1 Variabel Penelitian

	Luas Bak Ternaungi	Eceng gondok	Kayu Apu	Hydrilla
25%	16 x 45 cm	A1	B1	C1
50%	33 x 45 cm	A2	B2	C2
75%	49 x 45 cm	A3	B3	C3



Gambar 3.2 Pembagian Luas Naungan Daun pada Bak Tampak Atas

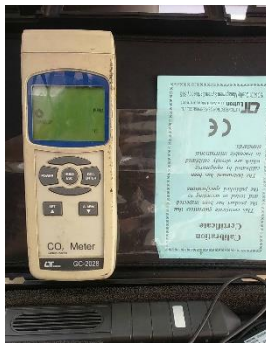
E. Pengumpulan Data

Data primer yang dibutuhkan dalam penelitian ini diperoleh dari hasil pengamatan lapangan dengan melakukan pengukuran konsentrasi karbon dioksida dan pengukuran kelembapan. Pengukuran konsentrasi karbon dioksida dilakukan setiap jam selama 13 jam (06.00–18.00 WIB). Prosedur pengukuran konsentrasi CO₂ udara menurut Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999 dilakukan setiap jam selama satu hari dengan menggunakan prinsip NDIR. Menurut Purwanto *et al.* (2007) untuk melakukan validasi data dilakukan pengulangan minimal 6 kali. Pada penelitian dilaksanakan sebanyak 7 kali pengulangan selama 7 hari pemantauan (mewakili hari dalam satu minggu).

F. Persiapan Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

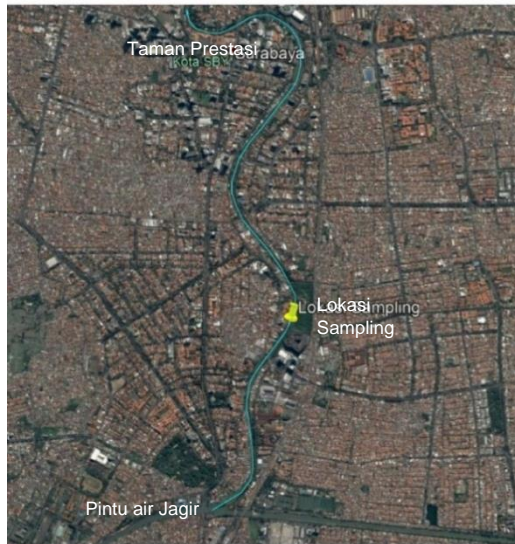
1. Air sungai
Pengambilan air sungai dilakukan dengan cara *grab sampling*. Air sungai kemudian diisi pada masing-masing bak plastik dengan volume 20 liter. Pemilihan titik yang digunakan untuk pengambilan sampel air sebagai media tumbuh tumbuhan dilakukan pada bagian tepi sungai, karena diproyeksikan sisi tersebut akan menjadi lokasi RTH perairan.
2. Tumbuhan air
Tumbuhan air eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), kayu apu (*Pistia stratiotes*), serta hydrilla (*Hydrilla verticillata*) yang digunakan dipilih berdasarkan ukurannya yang telah ditentukan sub bab 3.3. Jumlah tumbuhan yang digunakan berdasarkan perhitungan luas variasi dibagi dengan luas tiap individu tumbuhan.
3. CO₂ meter
Prinsip kerjanya menggunakan sensor NDIR (*non-dispersive infrared*) merupakan sensor pendeteksi gas karbon dioksida udara melalui pengukuran absorbansi karakteristik panjang gelombang. CO₂ meter yang digunakan adalah merk Lutron tipe GC-2028.



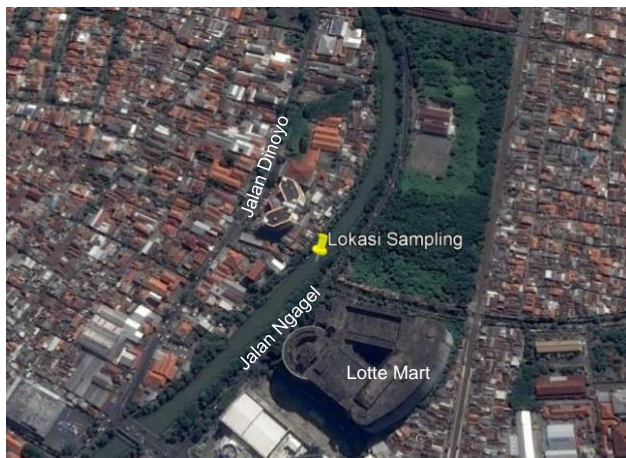
Gambar 3.3 CO₂ Meter

G. Pelaksanaan Penelitian

1. Pengambilan sampel air sungai
Lokasi *sampling* air yang digunakan sebagai media tumbuh tumbuhan dapat dilihat pada **Gambar 3.4 - Gambar 3.5**. Lokasi berada pada koordinat garis lintang 7°17'11.81"S dan garis bujur 112°44'46.62"T.



Gambar 3.4 Aliran Sungai Kalimas Segmen Ngagel-Taman Prestasi
 Sumber: Google Earth 2018



Gambar 3.5 Lokasi *Sampling* Jalan Dinoyo, Surabaya
 Sumber: Google Earth 2018

Lokasi tersebut dipilih karena menurut Damanik (2013) segmen tersebut tergolong kategori paling tercemar sepanjang segmen Ngagel Jembatan Petekan sehingga memiliki kandungan nutrisi yang lebih tinggi. Tumbuhan air membutuhkan nutrisi untuk tumbuh, menurut Prihantoro (2005), nutrisi yang mengandung unsur hara mikro dan makro meliputi N, P, K, S, Ca, Mg, Mn, Cu, dan Zn. Nutrisi tersebut dapat ditemukan sebagai ion utama dalam perairan serta dari air yang mengandung limbah industri dan limbah domestik. Kalimas Surabaya pada umumnya digunakan oleh masyarakat untuk menjadi saluran buangan limbah domestik. Kriteria pemilihan lokasi sampling menurut Hartini (2011) dapat dilakukan pada lokasi yang memiliki tingkat pencemaran tinggi dan diproyeksikan untuk pengaplikasian penelitian. Sungai Kalimas pada titik tersebut dipilih karena dengan konsentrasi pencemar yang relatif sama dengan sungai besar di lokasi lain, titik sampling yang dipilih berlokasi di pusat kota, posisi sungai strategis dekat dengan aktivitas pemukiman maupun fasilitas umum dan perkantoran. Selain itu, di daerah tersebut merupakan wilayah yang padat lalu lintas sehingga banyak sumber pencemaran karbon dioksida. Sampel air yang dibutuhkan tiap bak adalah 20 liter, kemudian dibawa menuju *greenhouse* Departemen Teknik Lingkungan dan diisikan pada bak reaktor dan diberi tumbuhan sesuai perlakuan.

2. Aklimatisasi Tumbuhan

Tumbuhan yang digunakan kemudian dilakukan aklimatisasi untuk memberikan kesempatan bagi tumbuhan untuk beradaptasi dengan air sungai. Proses aklimatisasi dilakukan selama 3 hari di *greenhouse* Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS.

3. Pengukuran konsentrasi karbon dioksida

Konsentrasi karbon dioksida merupakan data utama yang dibutuhkan pada penelitian ini diukur menggunakan CO₂ meter. Saat pengukuran dilakukan, reaktor ditutup menggunakan plastik transparan. Hal ini dilakukan karena sifat udara yang dinamis sehingga diharapkan saat melakukan pengukuran kondisi udara dapat stabil. Menurut

Puspita (2007) udara bersifat relatif dan terus bergerak sehingga pada kondisi ruangan tertutup udara akan memiliki konsentrasi yang relatif tetap dan stabil. Pemilihan titik *sampling* dilakukan secara acak karena tidak berpengaruh terhadap konsentrasi yang terukur. Berdasarkan tata cara penggunaan alat CO₂ meter Lutron GC-2028, pengukuran dilakukan di titik tengah reaktor dengan kedalaman probe 10 cm dari luar, yakni saat lubang input sensor masuk ke dalam reaktor secara keseluruhan. Cara penggunaan alat CO₂ meter sebagai berikut:

- Koneksikan *sensor stick* pada alat
- Tekan tombol power pada alat, tunggu hingga alat selesai melakukan *warm up* yang ditandai dengan munculnya nilai konsentrasi (ppm) dan suhu (°C)
- Tutup reaktor menggunakan plastik, kemudian posisikan sensor pada titik pengukuran sedalam 10 cm dari permukaan plastik
- Alat akan mengukur setiap perubahan konsentrasi karbon dioksida selama 1 menit, catat setiap angka yang muncul pada alat
- Lakukan langkah yang sama pada tiap sampel (10 bak). Konsentrasi karbon dioksida digunakan sebagai data awal untuk penentuan nilai serapan karbon dioksida udara oleh tumbuhan air dengan metode analisa numerik

H. Analisis dan Pembahasan

Analisis yang digunakan untuk menjawab tujuan pertama adalah dengan membandingkan data pengukuran tiap sampel pada saat pengukuran pagi dan siang untuk mengetahui pola konsentrasinya. Analisis terhadap data konsentrasi CO₂ yang telah diperoleh dari hasil pengukuran digunakan untuk penentuan tingkat serapan CO₂ oleh tumbuhan uji, langkah analisisnya sebagai berikut:

- Membuat kurva nilai konsentrasi CO₂ fungsi waktu (t) selama 13 jam (kurva 1)
- Menghitung nilai laju konsentrasi CO₂ yang didapatkan dari deferensi persamaan kurva konsentrasi CO₂ fungsi waktu (kurva 1). Nilai laju konsentrasi tersebut kemudian dibuat kurva laju konsentrasi CO₂ (kurva 2).

- Menghitung nilai kumulatif konsentrasi CO_2 selama 7 (tujuh) hari yang didapatkan dari integrasi persamaan pada kurva laju konsentrasi CO_2 (kurva 2). Hasil perhitungan yang didapat kemudian dibuat kurva nilai kumulatif konsentrasi CO_2 (KCO_2).
- Luasan kurva nilai kumulatif konsentrasi CO_2 setara dengan besar kemampuan tumbuhan uji dalam menyerap karbon dioksida sehingga dapat digunakan sebagai indikator reduksi senyawa udara ambien (Ahmad, 2017).

I. Kesimpulan dan Saran

Penarikan kesimpulan dilakukan berdasarkan hasil proses analisis dalam pelaksanaan penelitian yang kemudian dibukukan dalam laporan hasil tugas akhir dan diujikan dalam bentuk presentasi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tahap Persiapan Tumbuhan

Tumbuhan yang digunakan dipilih berdasarkan ukurannya dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.1 hingga Gambar 4.3.

Tabel 4.1 Ukuran Tumbuhan

Tumbuhan	Ukuran (cm)
Eceng gondok	9-10
Kayu apu	6-8
Hydrilla	2-3

Tumbuhan yang terpilih kemudian diaklimatisasi untuk mengkondisikan tumbuhan agar mampu beradaptasi pada lingkungan baru sehingga tumbuhan mampu tumbuh seperti semestinya. Selanjutnya tumbuhan dimasukkan ke dalam reaktor yang berupa bak plastik berukuran 65 x 45 x 40 cm yang diisi dengan sampel air sungai sebanyak 20 liter. Total jumlah reaktor yang digunakan adalah 10 buah. Setelah aklimatisasi selama 3 hari, dilanjutkan dengan pelaksanaan penelitian utama yakni pengukuran konsentrasi CO₂ dalam reaktor yang telah disiapkan.



Gambar 4.1 Eceng Gondok (*E. crassipes*) Lebar 9 cm
Sumber : Hasil Pengamatan



Gambar 4.2 Kayu Apu (*P. stratiotes*) Lebar 7 cm

Sumber : Hasil Pengamatan



Gambar 4.3 Hydrilla (*H. verticillata*) Lebar 3 cm

Sumber : Hasil Pengamatan

Berdasarkan Aziz (2010), dalam menentukan jumlah tumbuhan yang digunakan untuk memenuhi variabel luas tutupan dilakukan menggunakan rumus berikut:

Jumlah tumbuhan = Luas tutupan total / Luas tutupan per tumbuhan

Contoh perhitungan luas tutupan 25% tumbuhan eceng gondok:

Luas tutupan
 $= 25\% \times \text{Luas permukaan bak}$
 $= 25\% \times (65 \times 45) \text{ cm}^2$
 $= 731 \text{ cm}^2$

Ukuran tumbuhan = 9 cm

Luas tumbuhan = 81 cm²
 Jumlah Tumbuhan = 731 / 81 cm²
 = 9 tumbuhan

Tabel 4.2 Jumlah Tumbuhan yang Digunakan

Tumbuhan	% Tutupan (luas tutupan)	Ukuran Tumbuhan	Jumlah Tumbuhan
Eceng gondok	25% (731 cm ²)	9 x 9 cm	9
	50% (1463 cm ²)		18
	75% (2194 cm ²)		27
Kayu apu	25% (731 cm ²)	8 x 8 cm	11
	50% (1463 cm ²)		23
	75% (2194 cm ²)		34
Hydrilla	25% (731 cm ²)	3 x 15 cm	16
	50% (1463 cm ²)		33
	75% (2194 cm ²)		49

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan hubungannya dengan lingkungan air dan udara, tumbuhan eceng gondok dan kayu apu merupakan jenis tumbuhan air tipe terapung (*floating hydrophytes*). Bagian daun kedua tumbuhan ini muncul di permukaan air dan bagian akarnya terendam. Sedangkan hydrilla merupakan jenis tumbuhan air di bawah permukaan (*submerged hydrophytes*), seluruh bagian tumbuhan terendam tanpa berhubungan langsung dengan atmosfer. Menurut Hidayati *et al.* (2011), kemampuan fotosintesis tumbuhan bervariasi tidak hanya karena pengaruh lingkungan tetapi juga karena pengaruh dari umur dan letak daunnya apabila dibandingkan dengan permukaan air (daun mengapung dan daun melayang). Umur daun berkaitan dengan kandungan klorofil dan plastisitas pembukaan stomata yang menentukan besarnya fotosintesis.

4.2 Pola Konsentrasi Karbon Dioksida

Karbon dioksida adalah senyawa kimia yang terdiri dari dua atom berikatan secara kovalen dengan satu atom karbon (Astuti dan Thoha, 2017). Sumber CO₂ di perkotaan adalah dari pembakaran bahan bakar, pembakaran biomassa, tumpukan sampah, serta respirasi makhluk hidup (Samiaji, 2011). Pengukuran konsentrasi CO₂ dilakukan menggunakan alat CO₂ meter yang menggunakan prinsip NDIR (*non dispersive infrared*)

sensor, merupakan sebuah metode spektroskopi yang biasa digunakan untuk mendeteksi gas.

Pada penelitian ini, bak reaktor yang berisi variasi jenis dan luas tumbuhan ditutup menggunakan plastik transparan saat dilakukan pengukuran.



Gambar 4.4 Pengukuran CO₂ Menggunakan CO₂ Meter

Sumber: Hasil Penelitian

Data yang dikumpulkan pada penelitian ini adalah data seri waktu konsentrasi CO₂ selama 13 jam dimulai pukul 06.00 hingga 18.00 WIB. Pengukuran dilakukan dengan pengulangan selama 7 hari yang bertujuan untuk akurasi data. Hasil pengukuran konsentrasi CO₂ rata-rata selama 7 kali pengulangan dapat dilihat pada Tabel 4.3. Data pengukuran konsentrasi CO₂ secara lengkap dapat dilihat pada lampiran 1.

Pengukuran konsentrasi CO₂ dilakukan pada siang hari karena proses fotosintesis sedang terjadi, sehingga dapat diketahui tingkat serapan masing-masing tumbuhan dari aktivitas fotosintesisnya. Fotosintesis adalah proses pada tumbuhan hijau untuk menyusun senyawa organik dari karbon dioksida dan air yang hanya akan terjadi jika ada cahaya dan melalui perantara pigmen hijau klorofil (Handoko dan Yunie, 2008).

Tabel 4.3 Nilai Rata-Rata Pengukuran Konsentrasi CO₂

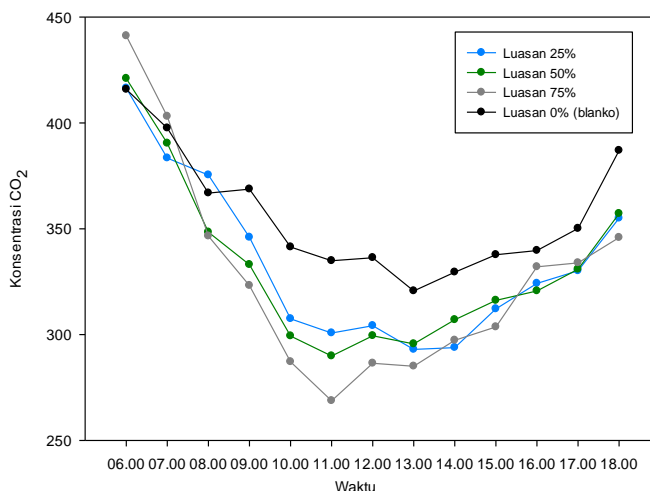
Jam	Eceng Gondok (ppmv)			Kayu Apu (ppmv)			Hydrilla (ppmv)			Blanko (ppmv)	Suhu (°C)
	25%	50%	75%	25%	50%	75%	25%	50%	75%		
06.00	416	421	441	434	437	437	440	426	429	416	28,9
07.00	383	390	403	389	396	373	399	387	370	398	29,9
08.00	375	348	347	366	352	345	378	370	353	367	30,9
09.00	346	333	323	336	327	314	345	339	343	369	32,1
10.00	307	299	287	309	279	281	330	329	305	341	34,6
11.00	301	290	269	283	270	258	313	315	302	335	36,4
12.00	304	299	286	282	277	255	317	312	298	336	35,3
13.00	293	296	285	283	263	251	315	311	283	321	36,6
14.00	294	307	297	273	259	236	312	323	287	329	35,3
15.00	312	316	304	291	286	270	337	319	312	338	32,8
16.00	324	321	332	310	308	288	342	336	307	340	31,0
17.00	330	331	334	325	324	320	341	339	319	350	29,6
18.00	355	357	346	364	346	333	364	364	355	387	28,3

Sumber : Hasil Perhitungan

Menurut Dwidjoseputro dalam Handoko (2008), tumbuhan mampu menggunakan zat karbon dari udara untuk diubah menjadi bahan organik serta diasimilasikan di dalam tubuh tumbuhan dan hanya berlangsung jika ada cukup cahaya. Proses fotosintesis dapat berlangsung secara cepat maupun lambat. Proses fotosintesis yang berlangsung secara cepat disebabkan oleh adanya beberapa faktor yang mempengaruhi laju fotosintesis, suhu, resistensi daun terhadap difusi gas bebas, dan faktor protoplasma (Handoko dan Yunie, 2008). Pola konsentrasi CO_2 dari Tabel 4.3 pada masing-masing tumbuhan disajikan pada grafik berikut dengan pembahasan.

4.2.1 Tumbuhan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)

Pola konsentrasi CO_2 di udara dalam reaktor yang berisi tumbuhan eceng gondok dengan masing-masing variasi luas tumbuhannya disajikan pada Gambar 4.5.



Sumber : Hasil Penelitian

Gambar 4.5 Perubahan Konsentrasi CO_2 Udara pada Reaktor Tumbuhan Eceng Gondok

Grafik diatas menunjukkan perubahan nilai konsentrasi CO_2 udara setiap jam. Konsentrasi CO_2 di udara berdasarkan pengukuran dengan CO_2 meter, menunjukkan dalam satu hari nilai

konsentrasi CO₂ tertinggi terjadi saat pagi hari pukul 06.00 WIB dengan nilai sebesar 441 ppmv. Pada pagi hari konsentrasi CO₂ di udara cenderung tinggi karena adanya aktivitas respirasi tumbuhan saat malam hari yang cenderung menghasilkan CO₂ dan belum aktifnya proses fotosintesis saat pagi hari (Utomo, 2008).

Nilai konsentrasi CO₂ di udara cenderung menurun menjelang siang hari. Reaktor yang berisi tumbuhan air dengan luas 50% dan 75% mengalami penurunan konsentrasi CO₂ udara saat pukul 11.00 WIB. Konsentrasi CO₂ udara terendah pada reaktor yang memiliki luas 75%, yakni sebesar 269 ppmv. Sedangkan nilai terendah konsentrasi CO₂ pada reaktor yang berisi tumbuhan air dengan luas 25% terjadi pada pukul 13.00 WIB, yakni 293 ppmv. Hasil pengukuran ini dapat diartikan bahwa kemampuan tanaman dalam menyerap CO₂ di udara saat siang hari semakin tinggi, ditunjukkan dengan semakin menurunnya konsentrasi CO₂ di udara karena adanya proses fotosintesis yang menyerap CO₂ udara.

Setelah mencapai titik saturasi tumbuhan atau saat kemampuan penyerapan CO₂ maksimal yang ditunjukkan dengan nilai konsentrasi CO₂ pada titik terendah saat siang hari, kemampuan tumbuhan air dalam menyerap CO₂ udara mulai menurun sehingga arah garis pada grafik kembali naik. Hal ini menunjukkan adanya penurunan kemampuan serapan CO₂ udara menjelang sore hari. Penurunan kemampuan tumbuhan air dalam menyerap CO₂ udara terjadi karena menjelang sore intensitas cahaya matahari semakin menurun. Penurunan intensitas cahaya diikuti dengan penurunan suhu lingkungan yang menyebabkan kemampuan tumbuhan air dalam menyerap CO₂ juga menurun.

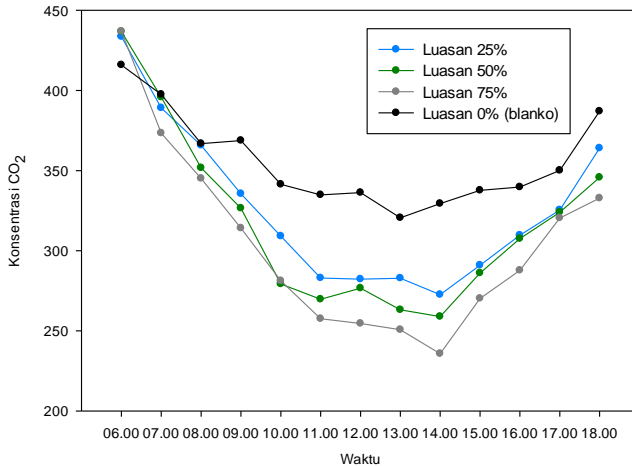
Jika dibandingkan konsentrasi CO₂ udara dalam reaktor yang berisi sampel tanpa tumbuhan (blanko) memiliki pola konsentrasi sama dengan reaktor yang berisi tumbuhan. Pada pukul 13.00 WIB terukur nilai konsentrasi CO₂ sebesar 321 ppmv. Nilai konsentrasi CO₂ udara di dalam reaktor blanko lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi CO₂ pada ketiga sampel lain yang berisi tumbuhan air. Diartikan bahwa dengan adanya tumbuhan air dapat menurunkan konsentrasi CO₂ udara karena adanya aktifitas tumbuhan air untuk menyerap CO₂ saat siang hari.

Dari penjelasan tersebut dapat diketahui bahwa terjadi penurunan konsentrasi CO_2 pada sampel yang berisi tumbuhan maupun tidak. Penurunan konsentrasi CO_2 hingga nilai terendah terdapat pada sampel dengan luas tumbuhan 75% ditandai dengan posisi garis pada kurva terletak pada bagian terbawah. Hal ini dimungkinkan dapat terjadi karena adanya korelasi antara luas daun dan jumlah klorofil dengan kemampuan fotosintesis (Hidayati *et al.*, 2011).

Tumbuhan eceng gondok mampu melakukan fotosintesis pada intensitas cahaya yang rendah (Puspitaningrum *et al.*, 2012). Hal tersebut menyebabkan tumbuhan ini dapat berfotosintesis lebih awal di pagi hari yakni pukul 11.00 WIB, dibandingkan tumbuhan air lain pada pukul 12.00 hingga 14.00.

4.2.2 Tumbuhan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)

Pola perubahan konsentrasi CO_2 udara dalam reaktor yang berisi tumbuhan kayu apu dengan masing-masing variasi luas tumbuhannya disajikan pada Gambar 4.6.



Sumber : Hasil Penelitian

Gambar 4.6 Perubahan Konsentrasi CO_2 Udara pada Reaktor Tumbuhan Kayu Apu

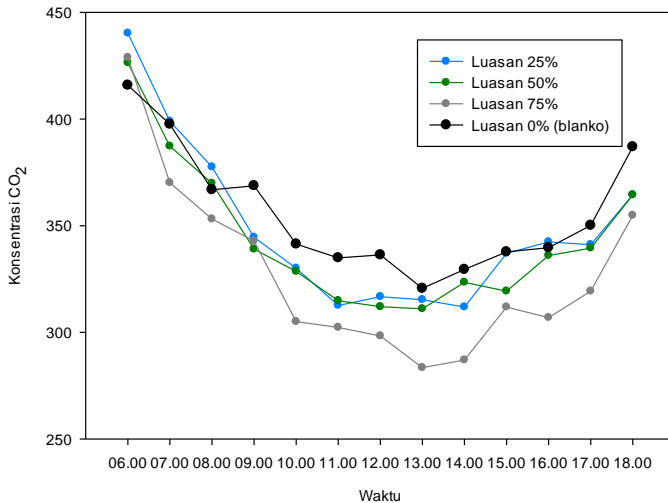
Tumbuhan kayu apu juga memiliki konsentrasi CO_2 tertinggi saat pagi hari akibat adanya aktivitas respirasi yang dilakukan oleh tumbuhan saat malam hari, sehingga tumbuhan cenderung menghasilkan CO_2 ke udara. Saat siang hari dan cahaya matahari tersedia, proses fotosintesis terjadi ditandai dengan terjadinya penurunan konsentrasi CO_2 udara di dalam reaktor penelitian. Konsentrasi CO_2 udara terendah dalam reaktor yang berisi tumbuhan kayu apu terukur pada pukul 14.00 WIB. Menjelang sore hari konsentrasi CO_2 udara kembali meningkat akibat adanya penurunan kemampuan tumbuhan dalam menyerap CO_2 di udara, sehingga menyebabkan garis pada grafik kembali naik. Jika dibandingkan setiap tumbuhan, masing-masing memiliki waktu yang berbeda untuk mencapai konsentrasi CO_2 terendah di udara. Hal ini terjadi karena klorofil pada setiap jenis tumbuhan air memiliki kemampuan berbeda dalam menangkap cahaya (Ai, 2012).

Perbedaan laju penyerapan CO_2 pada setiap tumbuhan air dipengaruhi oleh karakteristik genetik setiap jenis tumbuhan yang berbeda. Luas daun berpengaruh terhadap kualitas dan jumlah klorofil yang ada pada setiap tumbuhan sehingga laju fotosintesisnya juga berbeda. Penurunan CO_2 udara pada reaktor tumbuhan kayu apu sama dengan eceng gondok, penurunan konsentrasi CO_2 paling besar terjadi pada reaktor yang berisi tumbuhan dengan luas 75%, ditandai dengan posisi garis kurva pada posisi terbawah.

Penurunan konsentrasi CO_2 pada reaktor tumbuhan kayu apu terlihat yang paling besar, dapat dilihat dengan membandingkan jarak garis kurva sampel yang berisi tumbuhan dengan garis kurva sampel blanko. Pada grafik terlihat jarak yang lebih besar dibanding dengan grafik pada tumbuhan lainnya. Tumbuhan kayu apu mampu menurunkan konsentrasi CO_2 di udara lebih besar dibandingkan dengan tumbuhan air lain karena struktur daun pada tumbuhan kayu apu. Daun kayu apu yang tebal berkaitan dengan struktur anatomis daun meliputi panjang lapisan, sel-sel palisade, dan lapisan lain dibawahnya. Struktur ini berfungsi sebagai pencegah terjadinya difusi CO_2 yang dilepaskan sehingga memungkinkan terjadinya kecepatan pengikatan CO_2 udara yang tinggi (Mansur *et al.*, 2011).

4.2.3 Tumbuhan Hydrilla (*Hydrilla verticillata*)

Hydrilla merupakan tumbuhan air melayang, dimana bagian daun, batang, dan akar terendam di air (Artiyani, 2011). Pola perubahan konsentrasi CO₂ udara pada reaktor yang berisi tumbuhan hydrilla dengan masing-masing variasi luas tutupannya disajikan pada Gambar 4.7.



Sumber : Hasil Penelitian

Gambar 4.7 Perubahan Konsentrasi CO₂ Udara pada Reaktor Tumbuhan Hydrilla

Saat pagi hari nilai konsentrasi CO₂ udara yang terukur pada semua sampel hydrilla menunjukkan nilai yang tinggi dibandingkan dengan konsentrasi CO₂ pada jam setelahnya. Nilai terendah konsentrasi CO₂ udara pada sampel tumbuhan hydrilla terjadi saat pukul 13.00 WIB pada sampel yang berisi tumbuhan dengan luas sebesar 75% yakni 283 ppmv. Setelah mencapai konsentrasi CO₂ terendah, garis kurva kembali naik. Hal ini menunjukkan adanya penurunan kemampuan tumbuhan hydrilla dalam menyerap CO₂ di udara menjelang waktu sore hari.

Dibandingkan dengan eceng gondok, tumbuhan hydrilla lebih lambat mencapai titik terendah konsentrasi CO_2 udaranya, namun lebih cepat dibandingkan dengan tumbuhan kayu apu. Jika dibandingkan dengan sampel blanko, garis kurva perubahan konsentrasi CO_2 udara pada reaktor tumbuhan hydrilla berada di bawah garis kurva sampel blanko. Hal ini menunjukkan penurunan konsentrasi CO_2 udara pada reaktor yang berisi tumbuhan terjadi lebih besar karena adanya proses fotosintesis pada tumbuhan. Proses tersebut memungkinkan terjadinya penyerapan CO_2 di udara oleh tumbuhan air yang menyebabkan konsentrasi CO_2 yang terukur di udara semakin menurun.

Tingginya nilai konsentrasi CO_2 saat pagi dan sore hari serta penurunan konsentrasi CO_2 udara pada siang hari dipengaruhi oleh suhu yang berhubungan dengan intensitas cahaya matahari. Menurut Pantilu *et al.* (2012), kenaikan suhu udara berbanding lurus dengan intensitas cahaya yang mempengaruhi proses fotosintesis karena berpengaruh terhadap pembesaran dan diferensiasi sel klorofil daun.

4.3 Penetapan Nilai Kumulatif Konsentrasi Karbon Dioksida (Net- CO_2 -Con)

Data seri waktu konsentrasi karbon dioksida ($C=f(t)$) dapat digunakan untuk menghitung nilai kumulatif konsentrasi karbon dioksida udara ambien (Net- CO_2 -Con). Langkah yang dilakukan adalah dengan deferensiasi konsentrasi CO_2 terhadap waktu ($\Delta C / \Delta t$) sehingga didapatkan nilai laju perubahan konsentrasi CO_2 (Susanty, 2014). Laju reaksi dapat didefinisikan sebagai perubahan konsentrasi per satuan waktu. Berkurangnya konsentrasi CO_2 yang merupakan reaktan dari reaksi fotosintesis menjadi fokus tinjauan dalam penelitian ini (Purba dan Ade, 2011).

Setelah didapatkan hasil dari perhitungan nilai laju perubahan konsentrasi selanjutnya data diplot ke dalam grafik sehingga dapat terlihat luasan kurva bertanda positif (+) atau negatif (-). Kurva bertanda positif artinya reduksi CO_2 lebih kecil dari emisi CO_2 . Sedangkan kurva bertanda negatif artinya reduksi CO_2 lebih besar dari emisi CO_2 . Perhitungan laju perubahan konsentrasi CO_2 dapat dilihat pada lampiran B.

Berdasarkan 10 grafik data laju perubahan konsentrasi CO_2 yang terdapat pada lampiran C, laju penurunan konsentrasi CO_2 terjadi pada pukul 07.00-08.00 WIB. Hal ini terjadi karena aktivitas tumbuhan yang mulai meningkat seiring meningkatnya intensitas cahaya. Semua pola menunjukkan hasil nilai laju perubahan konsentrasi yang bertanda negatif (-). Hal ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan tumbuhan air terjadi reduksi CO_2 lebih besar daripada emisi CO_2 pada semua sampel. Reduksi CO_2 lebih dominan terjadi karena saat siang hari terjadi proses fotosintesis pada tumbuhan. Fotosintesis merupakan suatu proses biokimia yang dilakukan tumbuhan dengan memanfaatkan energi cahaya matahari (Handoko dan Yunie, 2008).

Pada sampel blanko tanpa tumbuhan terjadi penurunan konsentrasi CO_2 juga karena adanya proses transfer massa. Menurut Bogli dalam Adji (2003) mempunyai tahapan proses sebagai berikut :

1. Gas karbondioksida (CO_2) di atmosfer masuk ke dalam air melalui proses difusi
2. Air yang mengandung CO_2 bersenyawa membentuk asam karbonat (*carbonic acid*) dan dapat dikatakan bahwa gas karbondioksida larut dalam air.

Dari perhitungan nilai laju perubahan konsentrasi terhadap waktu, kemudian dilakukan integrasi terhadap waktu untuk menghasilkan nilai kumulatif konsentrasi (Susanty, 2014). Nilai kumulatif CO_2 didapatkan dari perhitungan luasan kurva laju perubahan konsentrasi. Cara untuk menentukan tumbuhan yang paling efektif atau memiliki laju penyerapan paling tinggi dalam mereduksi CO_2 dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan KCO_2 pada masing-masing sampel.

Berikut ini adalah hasil perhitungan besar serapan CO_2 udara yang dilakukan oleh tumbuhan air yang ditunjukkan pada nilai KCO_2 tumbuhan dalam Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Nilai KCO₂

Jenis Tumbuhan	Variasi Luas	KCO ₂ Total (ppmv)	KCO ₂ Tumbuhan (ppmv)
Eceng Gondok	25%	-215,70	-56,47
	50%	-243,51	-86,28
	75%	-311,85	-154,62
Kayu Apu	25%	-286,23	-129
	50%	-318,09	-160,86
	75%	-364,53	-207,30
Hydrilla	25%	-252,36	-95,13
	50%	-228,69	-71,46
	75%	-286,53	-129,30
Blanko	0%	-157,23	

Sumber : Hasil Perhitungan

Nilai KCO₂ didapatkan dari perhitungan luas kurva laju perubahan konsentrasi CO₂, menurut Santoso (2012) luas kurva setara dengan nilai KCO₂ total. Sehingga untuk mendapatkan nilai serapan yang dilakukan oleh masing-masing tumbuhan dilakukan perhitungan selisih KCO₂ total dengan KCO₂ blanko. Hal ini dilakukan karena nilai pada KCO₂ blanko menunjukkan kemampuan serapan CO₂ udara yang dilakukan oleh air melalui proses difusi.

Nilai tersebut kemudian diplotkan ke dalam grafik dalam Gambar 4.8 hingga Gambar 4.10. Cara menentukan tumbuhan yang memiliki laju serapan tertinggi dilakukan dengan membandingkan nilai slope pada tiap grafik yang akan menunjukkan perubahan nilai KCO₂ setiap penambahan 1% luas tutupan pada tiap sampel. Slope merupakan kemiringan suatu garis yang menunjukkan besar kontribusi variabel x terhadap variabel y. Persamaan regresi sederhana didapatkan menggunakan aplikasi microsoft excel dengan membandingkan nilai KCO₂ dengan luas tumbuhan.

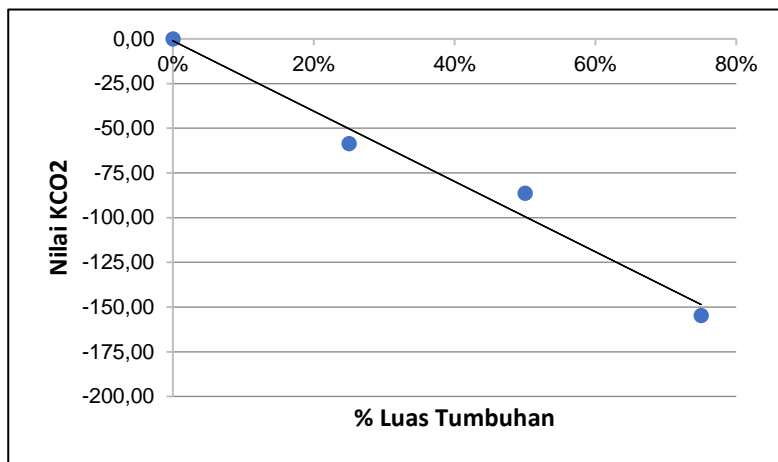
Menurut Kurniawan dan Madlazim (2015). Analisis yang dilakukan adalah analisis regresi dengan bentuk umum persamaan regresi linear yang menunjukkan hubungan dua variabel $y = a + bx$. Dimana:

x = variabel bebas (independen)

y = variabel terikat (dependen)

a = nilai *intercept* (titik potong kurva terhadap sumbu Y)

b = kemiringan (*slope*) kurva linear



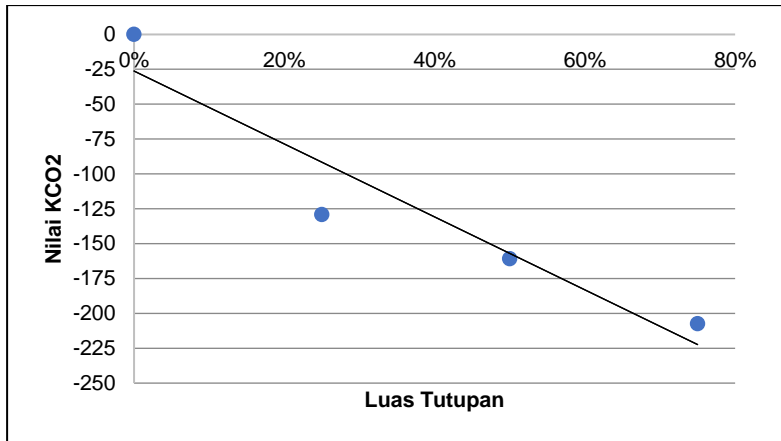
**Gambar 4.8 Nilai Kumulatif CO₂ Udara pada Reaktor Eceng Gondok
Setiap Variasi Luas Tumbuhan**

Sumber : Hasil Perhitungan

Hubungan dinamik perubahan luas tumbuhan dan total serapan CO₂ dapat dilihat pada persamaan:

$$K = -196,67 A - 1,092$$

Dari persamaan regresi linear sederhana tersebut dapat dijelaskan bahwa koefisien A bernilai 196,67 dan bertanda negatif. Hal ini berarti bahwa jika variabel luas tumbuhan bertambah sebesar 1% maka akan melakukan penyerapan konsentrasi CO₂ udara sebesar 196,67 ppmv. Semakin besar nilai negatif menunjukkan semakin besarnya penurunan konsentrasi CO₂ yang dapat terjadi. Dari grafik tersebut diketahui bahwa dengan adanya penambahan luas tumbuhan eceng gondok di permukaan air sungai berpengaruh terhadap penurunan CO₂ udara yang semakin besar.



Gambar 4.9 Nilai Kumulatif CO₂ Udara pada Reaktor Kayu Apu Setiap Variasi Luas Tumbuhan

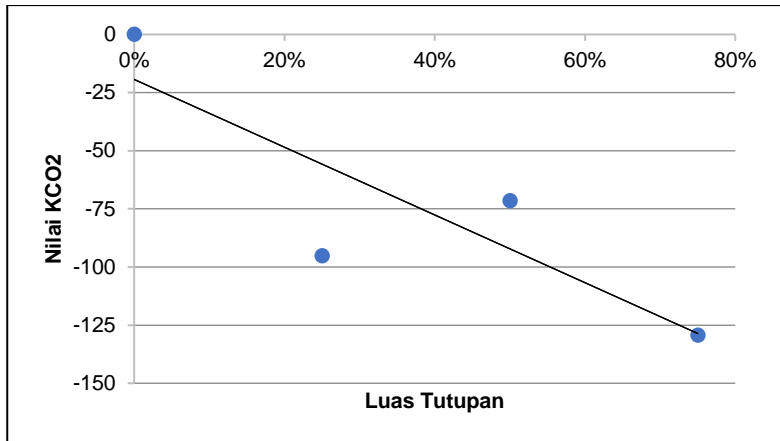
Sumber : Hasil Perhitungan

Persamaan untuk tumbuhan kayu apu adalah:

$$K = -261,5 A - 26,226$$

Luas tumbuhan kayu apu juga memiliki pengaruh terhadap hasil nilai KCO₂. Dari persamaan dapat diartikan setiap penambahan 1% luas tumbuhan kayu apu akan terjadi penurunan konsentrasi CO₂ udara sebesar 261,5 ppmv. Semakin besar nilai negatif KCO₂ menandakan semakin besarnya kemampuan tumbuhan dalam mengakumulasi konsentrasi CO₂.

Tumbuhan kayu apu mampu menurunkan nilai KCO₂ lebih besar dibandingkan dengan tumbuhan eceng gondok. Jika dilihat pada grafik pola konsentrasi pada sub bab 4.2 dapat terlihat bahwa konsentrasi CO₂ pada sampel tumbuhan kayu apu lebih rendah dibandingkan dengan sampel tumbuhan eceng gondok pada waktu yang sama. Penurunan konsentrasi tersebut mengindikasikan adanya aktifitas fotosintesis yang lebih efektif pada tumbuhan kayu apu.



Gambar 4.10 Nilai Kumulatif CO₂ Udara pada Reaktor Hydrilla Setiap Variasi Luas Tumbuhan

Sumber : Hasil Perhitungan

Persamaan untuk tumbuhan hydrilla adalah:

$$K = -145,69 A - 19,338$$

Sama halnya dengan tumbuhan eceng gondok dan kayu apu, luas tumbuhan juga berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi CO₂ pada sampel tumbuhan hydrilla. Setiap penambahan luasan 1% akan menurunkan konsentrasi CO₂ sebesar 145,69 ppmv. Nilai kumulatif KCO₂ lebih besar dari tumbuhan eceng gondok namun lebih kecil dibandingkan tumbuhan kayu apu.

Dari ketiga kurva diatas didapatkan nilai perubahan KCO₂ tiap penambahan 1% luas tumbuhan pada masing-masing jenis tumbuhan adalah:

Eceng gondok = 196,67 ppmv

Kayu apu = 261,5 ppmv

Hydrilla = 145,69 ppmv

Sehingga dapat diketahui bahwa jenis tumbuhan yang memiliki nilai serapan paling besar adalah kayu apu. Faktor-faktor laju fotosintesis memiliki pengaruh terhadap hasil serapan CO₂ pada tiap sampel tumbuhan yang diuji.

4.4 Uji Korelasi dan Regresi

Uji statistik memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh masing-masing variabel pada penelitian. Uji yang dilakukan pada penelitian ini adalah uji korelasi, untuk mengetahui kekuatan hubungan antar dua variabel. Serta melakukan uji signifikansi untuk arah hubungan variabel tersebut. Uji korelasi dan signifikansi pada penelitian ini menggunakan Microsoft Excel.

Uji korelasi akan menggabungkan dua variabel, yakni variabel terikat dan variabel bebas. Variabel yang dapat diuji korelasinya adalah variabel yang bersifat kuantitatif. Pada penelitian variabel terikat kuantitatifnya adalah luas tumbuhan, sedangkan jenis tumbuhan bersifat kualitatif sehingga tidak dapat dilakukan uji korelasi dengan variabel bebas. Variabel bebas penelitian ini adalah nilai KCO_2 . Uji korelasi akan menghasilkan nilai koefisien yang akan dibandingkan dengan r tabel statistika. Berikut ini adalah hasil uji korelasi dan regresi pada penelitian ini.

Tabel 4.5 Uji Korelasi Luas Tumbuhan Terhadap KCO_2

	Luas Tumbuhan	KCO_2
Luas Tumbuhan (m^2)	1	
KCO_2 (ppmv)	-0,3318	1

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan analisa korelasi luas tumbuhan terhadap nilai KCO_2 dengan jumlah sampel (n) 10, menghasilkan koefisien korelasi sebesar -0,3318. Koefisien tersebut kemudian dibandingkan dengan koefisien pada tabel r statistik untuk mengetahui nilai korelasi tersebut signifikan (bermakna) atau tidak. Nilai koefisien pada tabel r sebesar 0,6139 dengan tingkat signifikansi 5% ($\alpha=0,05$) dengan derajat bebas (db) 2, sehingga df adalah 8. Dengan hasil tersebut didapatkan bahwa r hitung < r tabel sehingga luasan RTH dinyatakan tidak berpengaruh terhadap nilai KCO_2 . Hal ini dapat terjadi karena nilai KCO_2 yang dianalisa merupakan nilai dari variasi luasan pada tiga jenis tumbuhan yang berbeda, sehingga faktor lain diperkirakan lebih berpengaruh terhadap hasil nilai KCO_2 yang telah didapatkan.

Selanjutnya dilakukan analisis regresi untuk mengetahui seberapa besar pengaruh luasan (variabel terikat) terhadap nilai konsentrasi CO₂ (variabel bebas). Hasil perhitungan uji signifikansi dan regresi dapat dilihat pada **Tabel 4.6** dan **Tabel 4.7**.

Tabel 4.6 Tabel Regresi Luas Tumbuhan Terhadap KCO₂

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,3313
R Square	0,1098
Adjusted R Square	-0,001
Standard Error	755,78
Observations	10

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.7 Uji Signifikansi Luas Tumbuhan Terhadap KCO₂

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	563721,2	563721,2	0,9868	0,3495
Residual	8	4569654	571206,7		
Total	9	5133375			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>
Intercept	647,670	714,181	0,9068	0,3909
KCO ₂	-5,3501	5,385	-0,9933	0,3495

Sumber : Hasil Perhitungan

Korelasi luasan RTH dengan nilai KCO₂ dihitung menggunakan program microsoft excel, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.7. Nilai t hitung dibandingkan dengan nilai t tabel untuk df 9 (10-1=9) adalah 0,3495. Nilai t hitung dapat dilihat pada bagian *P-value* sebesar 0,3495, sehingga t hitung = t tabel. Sehingga dapat diartikan bahwa hipotesis yang diuji dapat diterima dan persamaan model dinyatakan tepat.

4.5 Analisa Faktor yang Mempengaruhi Laju Fotosintesis

Tumbuhan dapat melakukan fotosintesis dengan laju serapan yang berbeda. Tumbuhan dengan laju fotosintesis tinggi mampu menyerap CO₂ dalam jumlah lebih banyak dibanding

tumbuhan dengan laju fotosintesis rendah. Variasi dari kapasitas fotosintesis ini selain dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal (Mansur et al., 2011). Berikut adalah pembahasan berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhi laju serapan karbon dioksida.

1. Faktor Suhu dan Intensitas Cahaya

Kondisi suhu udara rata-rata pada penelitian ini berkisar antara $28,3^{\circ}\text{C}$ – 37°C . Semua sampel diletakkan pada lokasi yang sama selama penelitian sehingga memiliki suhu yang sama. Menurut Handoko dan Yunie (2008), suhu optimum tumbuhan tropis melakukan fotosintesis adalah 5°C - 35°C . Namun, berdasarkan literatur pada suhu diatas 35°C akan terjadi kerusakan pada protoplasma tumbuhan sehingga dapat menyebabkan kemampuan fotosintesisnya menurun. Ketahanan setiap tumbuhan terhadap perubahan suhu berbeda-beda tergantung pada karakteristik masing-masing tumbuhan. Pada penelitian ini hasil yang didapatkan relatif sama, tidak ada tumbuhan yang menunjukkan perubahan yang terlalu menyimpang pada kondisi suhu diatas 35°C .

Pengaruh yang ditimbulkan dari sinar matahari diantaranya, lama penyinaran matahari serta intensitas radiasi matahari. Berdasarkan data dari sistem pemantauan kualitas udara Kota Surabaya pada Bulan Maret 2018, nilai intensitas matahari dimulai pukul 06.00-18.00 WIB. Nilai tertinggi intensitas cahaya terjadi saat pukul 11.00 yakni $595,03 \text{ W/m}^2$, sedangkan nilai terendah terjadi saat pagi hari pukul 06.00 yakni $0,92 \text{ W/m}^2$.

Intensitas cahaya yang terlalu tinggi dapat menurunkan laju fotosintesis hal ini disebabkan adanya fotooksidasi klorofil yang berlangsung cepat, sehingga merusak klorofil. Pada intensitas cahaya yang tinggi kelembaban udara berkurang, sehingga proses transpirasi berlangsung lebih cepat (Haryanti, 2008). Sinar radiasi matahari mampu diserap tumbuhan hanyalah cahaya tampak dengan panjang gelombang 400-700 nm.

Pada penelitian ini, setiap sampel tumbuhan diletakkan di lokasi yang sama sehingga intensitas yang didapatkan pada setiap sampel diperkirakan telah sama.

2. Faktor Karakteristik Daun (Usia dan Letak Daun)

Ketiga tumbuhan uji yang digunakan dipilih berdasarkan ukuran rata-rata pada masing-masing usia eksponensialnya (usia pertumbuhan tercepat). Pemilihan ini dilakukan karena tumbuhan pada usia eksponensial aktif mengalami pembelahan sel yang banyak sehingga membutuhkan CO_2 yang banyak pula. Ditinjau dari letak daunnya, tumbuhan eceng gondok dan kayu apu memiliki daun yang mengapung di atas permukaan sehingga dapat lebih cepat menangkap CO_2 di udara. Ciri struktural yang paling mencolok pada daun-daun tumbuhan air adalah penyusutan jaringan-jaringan penunjang dan pelindung, berkurangnya jumlah jaringan pembuluh, khususnya xylem, dan adanya ruangan udara. (Firdaus, 2015).

Tumbuhan hydrilla memiliki daun yang keseluruhannya terendam, sehingga CO_2 yang diserap adalah CO_2 bebas yang tersedia di sekitar perairan dan dapat juga memanfaatkan bikarbonat (Puspitaningrum *et al.*, 2012). Namun, di dalam kloroplas bikarbonat harus dikonversi terlebih dahulu menjadi karbondioksida dengan bantuan enzim karbonik anhidrase sehingga dapat menurunkan laju fotosintesis pada tumbuhan (Puspitaningrum *et al.*, 2012). Sehingga berdasarkan penelitian, jenis tumbuhan yang memiliki nilai kumulatif CO_2 terendah adalah tumbuhan hydrilla.

Berdasarkan pembahasan, faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap laju fotosintesis tumbuhan air antara lain suhu, intensitas cahaya, lamanya penyinaran, dan sumber karbon dioksida pada setiap sampel dikondisikan pada kondisi yang sama. Sehingga pada penelitian ini faktor lingkungan tidak berpengaruh terhadap laju fotosintesis setiap sampel.

Selain faktor lingkungan, laju fotosintesis juga dipengaruhi oleh faktor hereditas tumbuhan. Jenis tumbuhan yang berbeda menyebabkan perbedaan laju fotosintesis. Tumbuhan air memiliki cara untuk beradaptasi dengan lingkungannya seperti daun yang ada pada tumbuhan air lebih besar, akar yang tidak terlalu panjang, tidak mempunyai lapisan lilin, dan stomata yang pada umumnya besar serta letak stomatanya berada di atas permukaan daun.

Stomata pada tumbuhan yang daunnya mengapung dipermukaan air, hanya terdapat pada permukaan atas saja. Hal ini berkaitan dengan pemasukan dan pengeluaran air yang dilakukan daun dalam melaksanakan fungsi transpirasi dan respirasi. Letak stomata yang ada dibagian atas dikarenakan stomata tersebut langsung berhadapan dengan atmosfer sehingga mempercepat proses transpirasi (Sari dan Herkules, 2017). Kerapatan stomata antara eceng gondok lebih kecil dibanding kerapatan stomata pada kayu apu, sehingga kayu apu memiliki laju fotosintesis yang lebih besar (Sari dan Herkules, 2017).

Tumbuhan air yang memiliki pigmen hijau (klorofil) pada daunnya mampu melakukan proses fotosintesis. Proses fotosintesis pada tumbuhan air tersebut mampu meningkatkan proses reduksi CO₂ di udara perkotaan. Jika dibandingkan dengan laju reduksi pada tumbuhan yang umum digunakan pada RTH, nilai Net-CO₂-Con pada tumbuhan air memiliki nilai yang hampir sama. Pada penelitian ini nilai akumulasi CO₂ berada pada -215,70 ppmv untuk nilai terendahnya, hingga nilai tertinggi sebesar -364,53 ppmv. Menurut penelitian Susanty (2014) nilai Net-CO₂-Con pada RTH di Kampus ITS berada pada nilai -22,87 ppmv hingga -595.93 ppmv. Penambahan tumbuhan pada perairan memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai ruang terbuka hijau.

Pengembangan RTH perairan dapat menjadi solusi penambahan jumlah luas ruang terbuka hijau perkotaan untuk menyerap CO₂ yang dihasilkan karena nilai serapannya sama dengan tumbuhan darat. Pengembangan RTH perairan dengan menggunakan tumbuhan air harus diiringi dengan pemantauan jumlah tumbuhan, karena tumbuhan air memiliki kecepatan pertumbuhan rata-rata yang lebih tinggi.

Berikut ini adalah contoh penggunaan persamaan dinamis pada sub bab 4.3 untuk menentukan luas RTH perairan yang dibutuhkan. Diketahui pada suatu wilayah yang diasumsikan berbentuk *box*, memiliki:

- Luas = 90.000 m² = 9 ha (300 m x 300 m)
- Ketinggian = 4 m
- Volume area = 360.000 m³

Pelaksanaan pengukuran konsentrasi diasumsikan berada pada titik tengah *box*. Pengukuran dilaksanakan pada ketinggian 2 meter (*zona roughness layer*) karena pada ketinggian ini udara

cenderung stabil karena minimnya kecepatan angin. Menurut penelitian Santoso (2015), pengukuran konsentrasi CO₂ semakin menurun diikuti dengan semakin tinggi titik pengukuran. Sehingga ketinggian 2 meter dipilih untuk mendapatkan konsentrasi CO₂ yang maksimal.

Pada contoh penggunaan persamaan model ini, dilakukan perhitungan dengan sumber CO₂ berasal dari aktifitas manusia dan transportasi saja. Perhitungan jumlah CO₂ dapat dilakukan dengan pendekatan perhitungan kebutuhan O₂. Menurut Lestari dan Jaya (2005) dalam Putra (2012), kebutuhan O₂ manusia per hari adalah 0,864 kg O₂/hari, kendaraan mobil 11,63 kg O₂/hari, dan kendaraan motor 0,58 kg O₂/hari.

- Jumlah penduduk = 250 jiwa
- Jumlah kendaraan = 50 unit (30 motor, 20 mobil)

Sehingga perhitungan total kebutuhan O₂ dalam satu hari adalah:

- Kebutuhan O₂ manusia
 - = Jumlah penduduk x kebutuhan O₂ per hari
 - = 250 jiwa x 0,864 kg O₂/hari
 - = 216 kg O₂/hari = $216 \times 10^9 \mu\text{g O}_2/\text{hari}$
- Kebutuhan O₂ kendaraan motor
 - = 30 unit x 0,58 kg O₂/hari
 - = 17,4 kg O₂/hari = $17,4 \times 10^9 \mu\text{g O}_2/\text{hari}$
- Kebutuhan O₂ kendaraan mobil
 - = 20 unit x 11,63 kg O₂/hari
 - = 232,6 kg O₂/hari = $232,6 \times 10^9 \mu\text{g O}_2 / \text{hari}$
- Kebutuhan O₂ total = kebutuhan O₂ manusia + O₂ kendaraan
 - = (216 + 17,4 + 232,6) x 10⁹ μg O₂/hari
 - = 466 x 10⁹ μg O₂ / hari
- Konversi ke ppmv
 - = $[(\mu\text{g} / \text{m}^3) \times 24,5 \times 10^{-3}] : \text{BM CO}_2$
 - = $\frac{[(466 \times 10^9) / (36 \times 10^4 \text{ m}^3)] \times 0,245}{44,01}$
 - = 7.206,06 ppmv

Kebutuhan O₂ sama dengan jumlah CO₂ yang dihasilkan karena persamaan reaksi yang setara, sehingga untuk mereduksi konsentrasi CO₂ total yang dikeluarkan dalam satu hari sebesar 7.206,06 ppmv/hari menggunakan tumbuhan kayu apu, dibutuhkan seluas :

$$\begin{aligned}
 K &= 261,5 A - 26,226 \\
 7.206,06 &= 261,5 A - 26,226 \\
 7.232,29 &= 261,5 A \\
 A &= 27,65 \% \\
 A &= 0,2765 \times 90.000 \text{ m}^2 \\
 &= 24.885 \text{ m}^2 \text{ tumbuhan kayu apu}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan dari contoh kasus tersebut, untuk sebuah daerah yang menghasilkan CO₂ sebesar 7.206,06 ppmv selama 24 jam, dibutuhkan tumbuhan kayu apu untuk mereduksi CO₂ yang diemisikan seluas 27,65% dari luas wilayah atau seluas 24.885 m².

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Tumbuhan air memiliki kemampuan menyerap karbon dioksida di udara seperti pohon melalui proses fotosintesis. Konsentrasi CO_2 tertinggi sebesar 441 ppmv saat pagi. Konsentrasi menurun hingga nilai terendah 236 ppmv. Masing-masing jenis tanaman air mampu menurunkan konsentrasi CO_2 di udara selama 12 jam dengan nilai kumulatif CO_2 eceng gondok 196,67 ppmv, kayu apu 261,5 ppmv, dan hydrilla 145,69 ppmv. Tumbuhan yang paling baik dalam menyerap CO_2 adalah kayu apu.
2. Tumbuhan air memiliki kemampuan serapan CO_2 berbeda karena pengaruh jenis tanaman, luas tanaman, letak daun terhadap permukaan air yang mempengaruhi cara mengikat CO_2 , dan pengaruh suhu lingkungan yang dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari.

5.2 Saran

Saran untuk pengembangan penelitian ini adalah dilaksanakan pengukuran terhadap jumlah dan kualitas klorofil setiap jenis tumbuhan air, serta pengamatan terhadap faktor lingkungan yang mempengaruhi berupa pengukuran intensitas cahaya dan kelembaban udara.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Adita, B. R. Dan Naniek R. J. A. (2013). **Tingkat Kemampuan Penyerapan Tumbuhan Hias dalam Menurunkan Polutan Karbon Monoksida**. Surabaya: UPN Veteran.
- Adji, Tjahyo N (2003). **Agresivitas Air Tanah Karst Sungai Bawah Tanah Bribin, Gunung Sewu**. Gunung Sewu-Indonesian Cave and Karst Journal, Vol 1. No.1, April. Yogyakarta: Fakultas Geografi UGM.
- Afandi, B. (2009). **Pengaruh CO₂ Murni terhadap Pertumbuhan Mikroorganisme pada Produk Minuman Fanta di PT Coca-Cola Bottling Indonesia**. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Afdal. (2007). **Siklus Karbon dan Karbon dioksida di Atmosfer dan Samudera**. Jurnal Oseana Vol. 32, No. 2. Hal. 29-41.
- Ahmad, Aisyah. (2017). **Studi Reduksi PM_{2.5} Udara Ambien oleh Ruang Terbuka Hijau di Kawasan Industri PT Petrokimia Gresik**. Surabaya: Departemen Teknik Lingkungan ITS.
- Ai, Nio Song. (2012). **Evaluasi Fotosintesis pada Tumbuhan**. Manado: Universitas Sam Ratulangi.
- Andreyanto, R. (2016). **Penggunaan Hydrilla verticillata sebagai Bioindikator Pencemaran Lingkungan**. Jember: Jurusan Biologi, Universitas Jember.
- Artiyani, Anis. (2011). **Penurunan Kadar N-Total dan P-Total pada Limbah Cair Tahu dengan Metode Fitoremediasi Aliran Batch dan Kontinyu Menggunakan Tumbuhan Hydrilla Verticillata**. Malang : Departemen Teknik Lingkungan ITN.
- A'yun, D. Q. (2015). **Penurunan Konsentrasi Ammonium (NH₄⁺) pada Limbah Laundry dengan Tumbuhan Catail (*Typha angustifolia*) dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)**. Surabaya: Departemen Teknik Lingkungan ITS.

- Bowo, SAA., A. Hidayanto, dan RR Isnanto. (2011). **Analisis Deteksi Tepi untuk Mengidentifikasi Pola Daun**. Semarang : Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro.
- Dahlan, EN. (2007). **Hutan Kota untuk Peningkatan Kualitas Lingkungan**. APHI. Jakarta.
- Damanik, D. A. (2013). **Model Prediksi Kualitas Air Sungai di Kalimas Surabaya (Segmen Ngagel-Taman Prestasi) dengan Pemodelan QUAL2Kw**. Surabaya: Departemen Teknik Lingkungan ITS.
- Handoko, Papib dan Yunie Fajariyanti. (2008). **Pengaruh Spektrum Cahaya Tampak Terhadap Laju Fotosintesis Tumbuhan Air *Hydrilla verticillata***. Kediri : Universitas Nusantara PGRI.
- Hariyanti, F. (2016). **Efektifitas *Subsurface Flow Wetlands* dengan Tumbuhan Eceng Gondok dan Kayu Apu dalam Menurunkan Kadar COD dan TSS pada Limbah Pabrik Saus**. Semarang: Universitas Muhammadiyah Semarang.
- Hartanti, P. I., A. T. Sutanahaji, R. Wirosodarmo. (2012). **Pengaruh Kerapatan Tumbuhan Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) Terhadap Penurunan Logam Chromium pada Limbah Cair Penyamakan Kulit**. Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Hartini, Eko. (2011). **Teknik Sampliing Kualitas Udara**. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Haryanti, Sri. (2008). **Respon Pertumbuhan Jumlah dan Luas Daun Nilam (*Pogostemon cablin* Benth) pada Tingkat Naungan yang Berbeda**. Semarang : Jurusan Biologi Universitas Diponegoro.
- Haryanti, S., Rini Budi Hastuti, Endah Dwi Hastuti, Yulita Nurchayati. (2006). **Adaptasi Morfologi Fisiologi dan Anatomi Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart)**

- Solm) di Berbagai Perairan Tercemar.** Semarang : Jurusan Biologi Universitas Diponegoro.
- Hidayati *et al.*, (2011). **Serapan Karbondioksida (CO₂) Jenis-Jenis Pohon di Taman Buah "Mekar Sari" Bogor, Kaitannya dengan Potensi Mitigasi Gas Rumah Kaca.** Jurnal Biologi Indonesia 7 (1): 133-145. Bogor : Pusat Penelitian Biologi LIPI.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 5: Waste**
- Joga, N. dan Iwan I. (2011). **RTH 30% Resolusi Kota Hijau.** Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.
- Kalsum, U., A. Napoleon, dan B. Yudono. (2014). **Efektifitas Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*), Hydrilla (*Hydrilla verticillata*), dan Rumput Payung (*Cyperus alternifolius*) dalam Pengolahan Limbah Grey Water.** Jurnal Penelitian Sains Volume 17 No. 1. Palembang: Universitas Sriwijaya.
- Karmana, Oman. (2008). **Biologi.** Bandung : Grafindo Media Pratama.
- Kusminingrum, N. (2008). **Potensi Tumbuhan dalam Menyerap CO₂ dan CO untuk Mengurangi Dampak Pemanasan Global.** Jurnal Permukiman Vol. 3 No. 2 Juli 2008.
- Mashud, Nurhaini. (2007). **Stomata dan Klorofil Dalam Hubungannya dengan Produksi Kelapa.** Minahasa Utara : Balai Penelitian Tumbuhan Kelapa dan Palma Lain.
- Miharza, T., M. Basyuni, Y. Yunasfi. (2015). **Pengaruh Variasi Naungan Terhadap Pertumbuhan Tumbuhan.** Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Odjegba, V. J. Dan I. O. Fasidi. (2004). **Accumulation of Trace Elements by *Pistia stratiotes*: Implications for Phytoremediation.** Journal of Ecotoxicology 13 Page 637-646. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Pantilu, L. I. *et al.* (2012). **Respons Morfologi dan Anatomi Kecambah Kacang Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill)**

- terhadap Intensitas Cahaya yang Berbeda.** Jurnal Bioslogos Vol. 2, No. 2, Agustus 2012. Manado : Universitas Sam Ratulangi.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum. (2008). **Pedoman Penyediaan dan Pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau di Kawasan Perkotaan.** Jakarta: Direktorat Jenderal Penataan Ruang Departemen Pekerjaan Umum.
- Purba, Elida dan Ade C. K. (2012). **Kajian Awal Laju Reaksi Fotosintesis untuk Penyerapan Gas CO₂ Menggunakan Mikroalga *Tetraselmis Chuii*.** Jurnal Rekayasa Proses, Vol. 6, No. 1. Bandar Lampung : Jurusan Teknik Kimia, Universitas Lampung.
- Puspita, T. Mega. (2017). **Potensi Emisi Gas Rumah Kaca pada Boezem Morokrembangan dan Serapannya oleh Alga.** Surabaya: Departemen Teknik Lingkungan ITS .
- Putra, Erwin Hardika. (2012). **Analisis Kebutuhan Ruang Terbuka Hijau Berdasarkan Pendekatan Kebutuhan Oksigen Menggunakan Citra Satelit EO-1 ALI di Kota Manado.** Manado : Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Tondano.
- Rachmawati, D. A. (2012). **Studi Keanekaragaman Jenis Fitoplankton untuk Mengetahui Kualitas Perairan di Telaga Jonge Kecamatan Semanu Kabupaten Gunung Kidul Yogyakarta.** Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Rijal, M. (2014). **Studi Morfologi Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) dan Kiambang (*Salvinia molesta*).** Ambon: Program Studi Pendidikan Biologi IAIN Ambon.
- Samiaji, Toni. (2011). **Gas CO₂ di Wilayah Indonesia.** Berita Dirgantara Vol. 12 No. 2 Juni 2011. Jakarta : LAPAN.
- Santoso, I. B. dan S. Mangkoedihardjo. (2012). **Time Series of Carbon Dioxide Concentration in the Ambient Air to Determine Greenspace Area.** International Journal of Academic Research Vol. 4, No. 6 page 224-229.

- Sari, W.D.P dan Herkules. (2017). **Analisis Struktur Stomata pada Daun Beberapa Tumbuhan Hidrofit sebagai Materi Bahan Ajar Mata Kuliah Anatomi Tumbuhan.** Jurnal Biosains Vol. 3 No. 3. Desember 2017. Medan : Universitas Negeri Medan.
- Setoaji, Lancur. (2013). **Pengaruh Aerasi dan Sumber Nutrien Terhadap Kemampuan Alga Filum Chlorophyta dalam Menyerap Karbon (*Carbon Sink*) untuk Mengurangi Emisi CO₂ di Perkotaan.** Surabaya: Departemen Teknik Lingkungan ITS.
- Sholeh, M. dan G. Griyanitasari. (2016). **Kajian Fitoremediasi Kromium dalam Limbah Penyamakan Kulit.** Prosiding Seminar Nasional Kulit, Karet, dan Plastik Ke-5. Yogyakarta.
- Sibarani, R. (2015). **Penurunan Konsentrasi Linier Alkil Benzen Sulfonat (LAS) dalam Air Limbah Laundry Menggunakan Eceng Gondok (*Eicchornia crassipes*) dan Walingi (*Scirpus grossus*).** Surabaya: Departemen Teknik Lingkungan ITS.
- Srivastava, S. dan Bhainsa. (2016). **Evaluation of Uranium Removal by *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle from Low Level Nuclear Waste Under Laboratory Conditions.** Journal of Environmental Management 167 pages 124-129. India: Nuclear Agriculture and Biotechnology Division, Bhabha Atomic Research Centre.
- Sugiarto, Bambang. (2011). **Ikatan Kimia dan Tata Nama.** Surabaya : Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan.
- Sukmawati, T., Herlina F., dan Novita K. I. (2015). **Penyerapan Karbon dioksida pada Tumbuhana Hutan Kota di Surabaya.** Jurnal Lentera Bio Vol. 4 No. 1 Hal. 108-111. Surabaya : FMIPA, Universitas Negeri Surabaya.
- Suryaningsih *et al.*, (2015). **Analisis Spasial Defisiensi Ruang Terbuka Hijau (RTH) Di Kota Mojokerto.** Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan. Malang.

- Susanty, F. H. (2014). **Evaluasi Program Eco Campus Berbasis Nilai Kumulatif Konsentrasi Karbon dioksida Udara Ambien (Net_CO₂-Con)**. Surabaya: Departemen Teknik Lingkungan ITS.
- Utomo, Budi. (2008). **Fotosintesis pada Tumbuhan**. Medan : Fakultas Pertanian USU.
- Yasin, A., Rizky A., Hendra P. (2011). **Pengaruh Intensitas Cahaya dan Kandungan Mineral pada Berbagai Media Tumbuh Terhadap Laju Fotosintesis Tumbuhan Hias Hidrofit Elodea (*Elodea canadensis*)**. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Zimmels, Y., F. Kirzhner, dan A. Malkovskaja. 2006. **Application of *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes* for Treatment of Urban Sewage in Israel**. Journal of Environmental Management 81, pages 420–428. Israel: Environmental, Water Resources and Agricultural Engineering, Department of Civil and Environmental Engineering, Technion.

LAMPIRAN A
HASIL PENGUKURAN KONSENTRASI CO₂ SELAMA 7 HARI

Tabel LA.1 Hasil Pengukuran Konsentrasi CO₂ Hari Ke-1

Selasa, 27 Maret 2018											
Jam	Eceng Gondok			Kayu Apu			Hydrilla			Blanko	Suhu
	25%	50%	75%	25%	50%	75%	25%	50%	75%		
06.00	417	412	512	492	509	503	453	411	500	430	29,8
07.00	408	408	425	388	404	389	376	407	382	415	30,3
08.00	379	360	346	369	363	366	362	358	364	367	32,8
09.00	348	335	329	378	340	338	336	341	335	362	33,3
10.00	311	310	311	361	321	325	331	339	332	332	35,8
11.00	302	297	309	334	350	309	321	323	317	351	35,3
12.00	331	346	374	337	353	340	351	341	362	386	30
13.00	339	333	340	331	338	340	352	345	324	334	30
14.00	367	375	434	398	348	332	329	353	348	369	29
15.00	369	365	351	366	386	351	353	355	411	378	29
16.00	402	364	365	371	400	385	413	389	366	358	29
17.00	386	369	387	360	407	401	369	361	409	367	27,8
18.00	419	373	364	418	371	369	354	371	354	387	27,4

Sumber : Hasil Pengukuran

Tabel LA.2 Hasil Pengukuran Konsentrasi CO₂ Hari Ke-2**Rabu, 28 Maret 2018**

Jam	Eceng Gondok			Kayu Apu			Hydrilla			Blanko	Suhu
	25%	50%	75%	25%	50%	75%	25%	50%	75%		
06.00	398	415	406	422	421	414	406	405	395	399	28,2
07.00	388	393	400	387	394	426	434	418	387	379	29
08.00	366	340	334	360	359	359	362	374	363	368	29
09.00	339	330	320	351	338	335	360	347	343	351	30
10.00	299	301	296	345	314	315	343	326	332	341	35
11.00	306	292	284	312	301	297	307	319	296	306	38
12.00	302	309	288	293	309	301	311	294	301	322	36
13.00	292	289	298	308	303	303	303	328	310	302	36
14.00	285	282	279	294	295	313	300	318	306	297	33
15.00	298	290	306	319	299	308	316	324	307	307	33
16.00	302	268	310	343	308	311	300	317	302	321	32
17.00	297	257	323	360	286	316	277	296	300	333	31,5
18.00	322	341	322	345	311	319	310	311	315	393	27,4

Sumber : Hasil Pengukuran

Tabel LA.3 Hasil Pengukuran Konsentrasi CO₂ Hari Ke-3**Kamis, 29 Maret 2018**

Jam	Eceng Gondok			Kayu Apu			Hydrilla			Blanko	Suhu
	25%	50%	75%	25%	50%	75%	25%	50%	75%		
06.00	375	380	422	400	360	365	466	443	400	365	29
07.00	384	393	420	383	356	356	464	439	392	362	30
08.00	367	333	322	390	350	350	387	384	346	351	31
09.00	326	329	320	343	344	325	339	330	332	332	32
10.00	317	279	277	316	293	312	318	320	312	336	33
11.00	285	275	264	305	284	310	298	297	312	316	39,6
12.00	285	246	269	302	284	266	285	305	299	290	41
13.00	284	283	267	294	278	276	277	279	280	313	44
14.00	272	316	276	306	322	317	297	306	305	316	44
15.00	318	351	316	324	314	324	347	306	375	321	35
16.00	318	324	314	335	316	307	316	316	325	322	32
17.00	317	321	332	324	336	329	339	324	317	327	31
18.00	315	343	340	359	333	332	380	365	406	400	30

Sumber : Hasil Pengukuran

Tabel LA.4 Hasil Pengukuran Konsentrasi CO₂ Hari Ke-4**Jumat, 30 Maret 2018**

Jam	Eceng Gondok			Kayu Apu			Hydrilla			Blanko	Suhu
	25%	50%	75%	25%	50%	75%	25%	50%	75%		
06.00	391	385	366	369	370	372	385	382	373	378	29,7
07.00	347	344	343	341	340	339	349	342	337	349	30
08.00	395	338	419	361	382	368	396	378	366	354	30,6
09.00	401	382	408	373	395	406	347	346	397	480	32
10.00	345	322	343	362	336	344	331	327	323	360	36
11.00	341	317	301	343	327	322	303	318	320	380	36
12.00	326	325	326	356	376	344	310	303	305	385	30
13.00	304	310	308	334	305	317	318	320	313	320	35
14.00	359	367	337	327	371	309	323	378	328	338	31
15.00	349	339	350	346	383	331	345	324	329	341	30
16.00	334	333	405	314	313	310	351	374	358	332	28
17.00	337	327	318	338	319	325	332	359	334	355	27
18.00	341	339	350	338	341	333	345	369	358	385	27

Sumber : Hasil Pengukuran

Tabel LA.5 Hasil Pengukuran Konsentrasi CO₂ Hari Ke-5**Sabtu, 14 April 2018**

Jam	Eceng Gondok			Kayu Apu			Hydrilla			Blanko	Suhu
	25%	50%	75%	25%	50%	75%	25%	50%	75%		
06.00	435	413	459	463	450	466	440	449	466	431	28
07.00	383	402	396	395	451	445	431	408	439	481	29
08.00	367	376	326	378	364	353	416	387	369	377	30,5
09.00	325	305	284	293	275	271	345	328	374	333	32
10.00	269	275	260	260	230	247	338	336	263	327	34
11.00	314	259	235	242	217	206	334	317	320	341	37
12.00	305	278	260	241	215	198	332	311	291	335	39
13.00	295	296	285	239	212	190	329	305	261	329	38
14.00	280	286	248	83	65	55	307	315	260	329	37
15.00	315	286	230	183	148	202	333	303	258	325	35
16.00	324	310	349	260	277	285	332	315	309	334	33
17.00	373	379	386	316	341	369	387	388	369	377	30
18.00	421	448	423	372	405	453	442	461	428	420	28

Sumber : Hasil Pengukuran

Tabel LA.6 Hasil Pengukuran Konsentrasi CO₂ Hari Ke-6**Minggu, 15 April 2018**

Jam	Eceng Gondok			Kayu Apu			Hydrilla			Blanko	Suhu
	25%	50%	75%	25%	50%	75%	25%	50%	75%		
06.00	415	421	465	422	451	447	408	432	388	457	29
07.00	333	331	385	395	381	319	355	317	303	369	31
08.00	335	319	310	308	303	280	336	328	313	323	31,6
09.00	324	305	273	272	292	232	326	320	293	327	33
10.00	312	290	236	236	198	183	315	311	273	330	34,6
11.00	318	299	242	216	185	164	316	308	276	318	35
12.00	323	307	247	195	171	145	316	305	279	305	36
13.00	262	277	262	198	173	148	312	295	269	317	37
14.00	201	247	277	201	174	150	308	284	259	329	38
15.00	249	287	284	236	221	159	325	297	233	354	34,5
16.00	296	326	290	270	268	168	342	310	206	378	31
17.00	303	320	297	294	290	223	338	312	213	364	30
18.00	309	313	303	318	312	278	334	313	220	349	29,1

Sumber : Hasil Pengukuran

Tabel LA.7 Hasil Pengukuran Konsentrasi CO₂ Hari Ke-7**Senin, 16 April 2018**

Jam	Eceng Gondok			Kayu Apu			Hydrilla			Blanko	Suhu
	25%	50%	75%	25%	50%	75%	25%	50%	75%		
06.00	484	521	458	467	496	491	524	463	480	451	28,3
07.00	441	462	453	435	445	340	384	380	351	428	30
08.00	419	373	369	394	341	340	384	380	351	428	31,1
09.00	359	345	328	339	302	292	359	361	326	396	32,4
10.00	299	318	287	284	263	243	334	341	300	364	33,5
11.00	239	290	246	229	224	195	309	322	275	332	34
12.00	257	285	241	252	228	188	312	318	251	331	35
13.00	275	281	235	276	233	181	316	314	227	329	36
14.00	293	276	230	299	237	174	319	310	203	328	35
15.00	287	295	288	263	252	216	340	326	270	338	33
16.00	293	319	291	275	271	248	343	331	282	333	32
17.00	298	343	294	286	289	280	346	336	293	328	30
18.00	358	343	319	398	347	246	386	361	403	375	28,9

Sumber : Hasil Pengukuran

“Halaman ini sengaja dikosogkan”

LAMPIRAN B
PERHITUNGAN LAJU PERUBAHAN KONSENTRASI

Tabel LB. 1 Sampel Tumbuhan Eceng Gondok Luasan 25%

Jam	Konsentrasi CO ₂	t	ΔC	Δt	$\Delta C / \Delta t$
			(C1 - C0)	(t1 - t0)	
06.00	416	0	0,00	0	0
07.00	383	60	-33,57	60	-0,56
08.00	375	120	-41,57	120	-0,347
09.00	346	180	-71,00	180	-0,395
10.00	307	240	-109,57	240	-0,457
11.00	301	300	-116,29	300	-0,388
12.00	304	360	-112,86	360	-0,314
13.00	293	420	-124,00	420	-0,296
14.00	294	480	-123,14	480	-0,257
15.00	312	540	-104,86	540	-0,195
16.00	324	600	-92,86	600	-0,155
17.00	330	660	-86,86	660	-0,132
18.00	355	720	-62,00	720	-0,087
Δt					60
f(t0)					0
f(tn)					-0,087
$\sum_{i=n}^{n-1} f(ci)$					-3,583
$\Delta t/2$					30
$2 \times \sum 1 \text{ sp } n$					-7,166
$f(t0)+f(tn)+2 \times \sum 1 \text{ sp } n$					-7,253
KCO₂					-217,59

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel LB. 2 Sampel Tumbuhan Eceng Gondok Luasan 50%

Jam	Konsentrasi CO ₂	t	ΔC	Δt	$\Delta C / \Delta t$
			(C1 - C0)	(t1 - t0)	
06.00	421	0	0,00	0	0
07.00	390	60	-30,57	60	-0,51
08.00	348	120	-72,57	120	-0,605
09.00	333	180	-88,00	180	-0,489
10.00	299	240	-121,71	240	-0,508
11.00	290	300	-131,14	300	-0,438
12.00	299	360	-121,57	360	-0,338
13.00	296	420	-125,43	420	-0,299
14.00	307	480	-114,00	480	-0,238
15.00	316	540	-104,86	540	-0,195
16.00	321	600	-100,43	600	-0,168
17.00	331	660	-90,14	660	-0,137
18.00	357	720	-63,86	720	-0,089
Δt					60
f(t0)					0
f(tn)					-0,089
$\sum_{i=n}^{n-1} f(ci)$					-4,014
$\Delta t/2$					30
$2 \times \sum 1 \text{ sp } n$					-8,028
$f(t0)+f(tn)+2 \times \sum 1 \text{ sp } n$					-7,698
KCO₂					-243,51

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel LB. 3 Sampel Tumbuhan Eceng Gondok Luasan 75%

Jam	Konsentrasi CO ₂	t	ΔC	Δt	$\Delta C / \Delta t$
			(C1 - C0)	(t1 - t0)	
06.00	441	0	0,00	0	0
07.00	403	60	-38,00	60	-0,634
08.00	347	120	-94,57	120	-0,789
09.00	323	180	-118,00	180	-0,656
10.00	287	240	-154,00	240	-0,642
11.00	269	300	-172,43	300	-0,575
12.00	286	360	-154,71	360	-0,43
13.00	285	420	-156,14	420	-0,372
14.00	297	480	-143,86	480	-0,3
15.00	304	540	-137,57	540	-0,255
16.00	332	600	-109,14	600	-0,182
17.00	334	660	-107,29	660	-0,163
18.00	346	720	-95,29	720	-0,133
Δt					60
$f(t_0)$					0
$f(t_n)$					-0,133
$\sum_{i=n}^{n-1} f(c_i)$					-5,131
$\Delta t/2$					30
$2 \times \sum 1 \text{ sp } n$					-10,262
$f(t_0)+f(t_n)+2 \times \sum 1 \text{ sp } n$					-7,865
KCO₂					-311,85

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel LB. 4 Sampel Tumbuhan Kayu Apu Luasan 25%

Jam	Konsentrasi CO ₂	t	ΔC	Δt	$\Delta C / \Delta t$
			(C1 - C0)	(t1 - t0)	
06.00	434	0	0,00	0	0
07.00	389	60	-44,43	60	-0,741
08.00	366	120	-67,86	120	-0,566
09.00	336	180	-98,00	180	-0,545
10.00	309	240	-124,43	240	-0,519
11.00	283	300	-150,57	300	-0,502
12.00	282	360	-151,29	360	-0,421
13.00	283	420	-150,71	420	-0,359
14.00	273	480	-161,00	480	-0,336
15.00	291	540	-142,57	540	-0,265
16.00	310	600	-123,86	600	-0,207
17.00	325	660	-108,14	660	-0,164
18.00	364	720	-69,57	720	-0,097
Δt					60
f(t0)					0
f(tn)					-0,097
$\sum_{i=n}^{n-1} f(ci)$					-4,722
$\Delta t/2$					30
$2 \times \sum 1 \text{ sp } n$					-9,444
$f(t0)+f(tn)+2 \times \sum 1 \text{ sp } n$					-7,804
KCO₂					-286,23

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel LB. 5 Sampel Tumbuhan Kayu Apu Luasan 50%

Jam	Konsentrasi CO ₂	t	$\frac{\Delta C}{(C_1 - C_0)}$	$\frac{\Delta t}{(t_1 - t_0)}$	$\Delta C / \Delta t$
06.00	437	0	0	0	0
07.00	396	60	-40,86	60	-0,681
08.00	352	120	-85,00	120	-0,709
09.00	327	180	-110,14	180	-0,612
10.00	279	240	-157,43	240	-0,656
11.00	270	300	-167,00	300	-0,557
12.00	277	360	-160,14	360	-0,445
13.00	263	420	-173,57	420	-0,414
14.00	259	480	-177,86	480	-0,371
15.00	286	540	-150,57	540	-0,279
16.00	308	600	-129,14	600	-0,216
17.00	324	660	-112,71	660	-0,171
18.00	346	720	-91,00	720	-0,127
Δt					60
$f(t_0)$					0
$f(t_n)$					-0,127
$\sum_{i=n}^{n-1} f(c_i)$					-5,238
$\Delta t/2$					30
$2 \times \sum 1 \text{ sp } n$					-10,476
$f(t_0)+f(t_n)+2 \times \sum 1 \text{ sp } n$					-8,542
KCO₂					-318,09

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel LB. 6 Sampel Tumbuhan Kayu Apu Luasan 75%

Jam	Konsentrasi CO ₂	t	ΔC	Δt	$\Delta C / \Delta t$
			(C1 - C0)	(t1 - t0)	
06.00	437	0	0	0	0
07.00	373	60	-63,43	60	-1,058
08.00	345	120	-91,71	120	-0,765
09.00	314	180	-122,71	180	-0,682
10.00	281	240	-155,57	240	-0,649
11.00	258	300	-179,29	300	-0,598
12.00	255	360	-182,29	360	-0,507
13.00	251	420	-186,14	420	-0,444
14.00	236	480	-201,14	480	-0,42
15.00	270	540	-166,71	540	-0,309
16.00	288	600	-149,14	600	-0,249
17.00	320	660	-116,43	660	-0,177
18.00	333	720	-104,00	720	-0,145
Δt					60
$f(t_0)$					0
$f(t_n)$					-0,145
$\sum_{i=1}^{n-1} f(c_i)$					-4,974
$\Delta t/2$					30
$2 \times \sum 1 \text{ sp } n$					-12,006
$f(t_0)+f(t_n)+2 \times \sum 1 \text{ sp } n$					-10,065
KCO₂					-364,53

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel LB. 7 Sampel Tumbuhan Hydrilla Luasan 25%

Jam	Konsentrasi CO ₂	t	ΔC	Δt	$\Delta C / \Delta t$
			(C ₁ - C ₀)	(t ₁ - t ₀)	
06.00	426	0	0	0	0
07.00	387	60	-41,29	60	-0,689
08.00	370	120	-62,71	120	-0,523
09.00	339	180	-95,71	180	-0,532
10.00	329	240	-110,29	240	-0,46
11.00	315	300	-127,71	300	-0,426
12.00	312	360	-123,57	360	-0,344
13.00	311	420	-125,00	420	-0,298
14.00	323	480	-128,43	480	-0,268
15.00	319	540	-103,29	540	-0,192
16.00	336	600	-97,86	600	-0,164
17.00	339	660	-99,14	660	-0,151
18.00	364	720	-75,86	720	-0,106
Δt					60
$f(t_0)$					0
$f(t_n)$					-0,106
$\sum_{i=n}^{n-1} f(c_i)$					-4,153
$\Delta t/2$					30
$2 \times \sum 1 \text{ sp } n$					-8,306
$f(t_0)+f(t_n)+2 \times \sum 1 \text{ sp } n$					-6,636
KCO₂					-252,36

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel LB. 8 Sampel Tumbuhan Hydrilla Luasan 50%

Jam	Konsentrasi CO ₂	t	ΔC	Δt	$\Delta C / \Delta t$
			(C1 - C0)	(t1 - t0)	
06.00	426	0	0,00	0	0
07.00	387	60	-39,14	60	-0,653
08.00	370	120	-56,57	120	-0,472
09.00	339	180	-87,43	180	-0,486
10.00	329	240	-97,86	240	-0,408
11.00	315	300	-111,57	300	-0,372
12.00	312	360	-114,43	360	-0,318
13.00	311	420	-115,43	420	-0,275
14.00	323	480	-103,00	480	-0,215
15.00	319	540	-107,14	540	-0,199
16.00	336	600	-90,43	600	-0,151
17.00	339	660	-87,00	660	-0,132
18.00	364	720	-62,00	720	-0,087
Δt					60
f(t0)					0
f(tn)					-0,087
$\sum_{i=n}^{n-1} f(ci)$					-3,768
$\Delta t/2$					30
$2 \times \sum 1 \text{ sp } n$					-7,536
$f(t0)+f(tn)+2 \times \sum 1 \text{ sp } n$					-6,636
KCO₂					-228,69

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel LB. 9 Sampel Tumbuhan Hydrilla Luasan 75%

Jam	Konsentrasi CO ₂	t	ΔC	Δt	$\Delta C / \Delta t$
			(C1 - C0)	(t1 - t0)	
06.00	429	0	0,00	0	0
07.00	370	60	-58,71	60	-0,979
08.00	353	120	-75,71	120	-0,631
09.00	343	180	-86,00	180	-0,478
10.00	305	240	-123,86	240	-0,517
11.00	302	300	-126,57	300	-0,422
12.00	298	360	-130,57	360	-0,363
13.00	283	420	-145,43	420	-0,347
14.00	287	480	-141,86	480	-0,296
15.00	312	540	-117,00	540	-0,217
16.00	307	600	-122,00	600	-0,204
17.00	319	660	-109,57	660	-0,167
18.00	355	720	-74,00	720	-0,103
Δt					60
$f(t_0)$					0
$f(t_n)$					-0,103
$\sum_{i=1}^{n-1} f(c_i)$					-4,724
$\Delta t/2$					30
$2 \times \sum 1 \text{ sp } n$					-9,448
$f(t_0)+f(t_n)+2 \times \sum 1 \text{ sp } n$					-8,309
KCO₂					-286,53

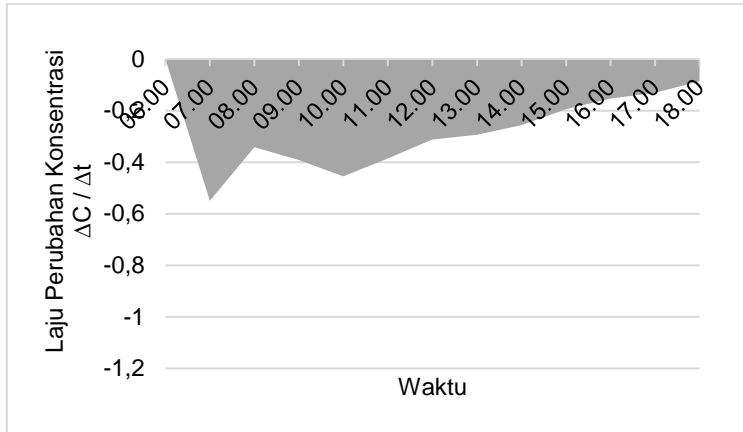
Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel LB. 10 Sampel Blanko

Jam	Konsentrasi CO ₂	t	ΔC	Δt	$\Delta C / \Delta t$
			(C1 - C0)	(t1 - t0)	
06.00	416	0	0	0	0
07.00	398	60	-18,29	60	-0,305
08.00	367	120	-49,00	120	-0,409
09.00	369	180	-47,14	180	-0,262
10.00	341	240	-74,43	240	-0,311
11.00	335	300	-81,00	300	-0,27
12.00	336	360	-79,57	360	-0,222
13.00	321	420	-95,29	420	-0,227
14.00	329	480	-86,43	480	-0,181
15.00	338	540	-78,14	540	-0,145
16.00	340	600	-76,14	600	-0,127
17.00	350	660	-65,71	660	-0,1
18.00	387	720	-28,86	720	-0,041
Δt					60
$f(t_0)$					0
$f(t_n)$					-0,041
$\sum_{i=1}^{n-1} f(c_i)$					-2,6
$\Delta t/2$					30
$2 \times \sum 1 \text{ sp } n$					-5,2
$f(t_0)+f(t_n)+2 \times \sum 1 \text{ sp } n$					-5,358
KCO₂					-157,23

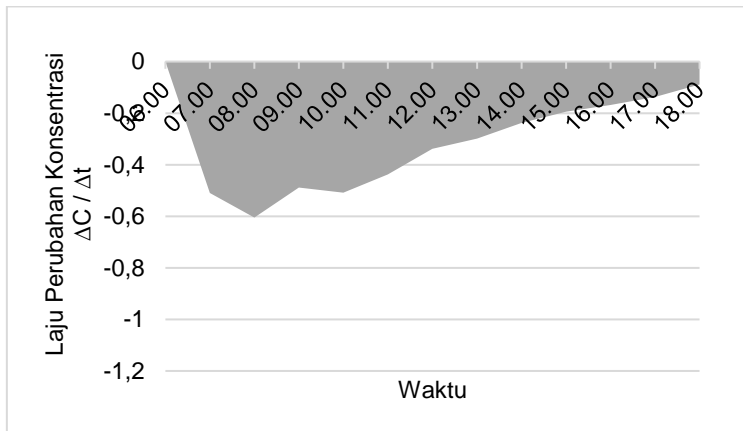
Sumber : Hasil Perhitungan

LAMPIRAN C GRAFIK LAJU PERUBAHAN KONSENTRASI



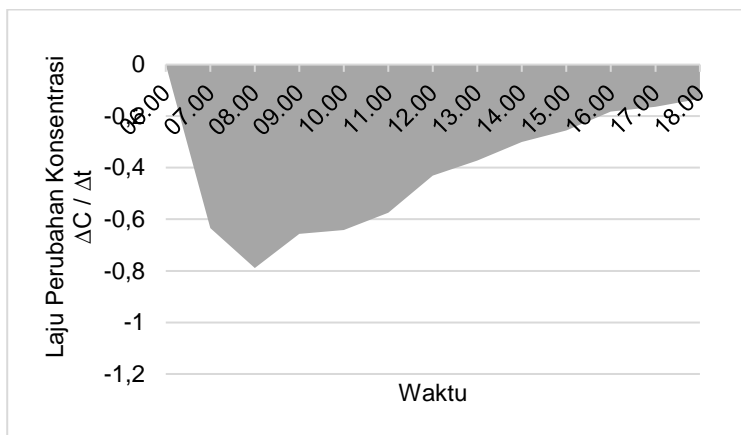
Sumber : Hasil Perhitungan

Gambar LC. 1 Laju Perubahan Konsentrasi Tumbuhan Eceng Gondok 25%



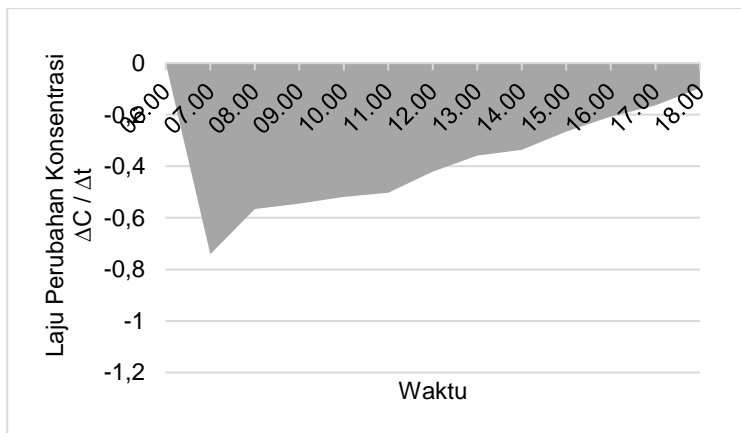
Sumber : Hasil Perhitungan

Gambar LC. 2 Laju Perubahan Konsentrasi Tumbuhan Eceng Gondok 50%



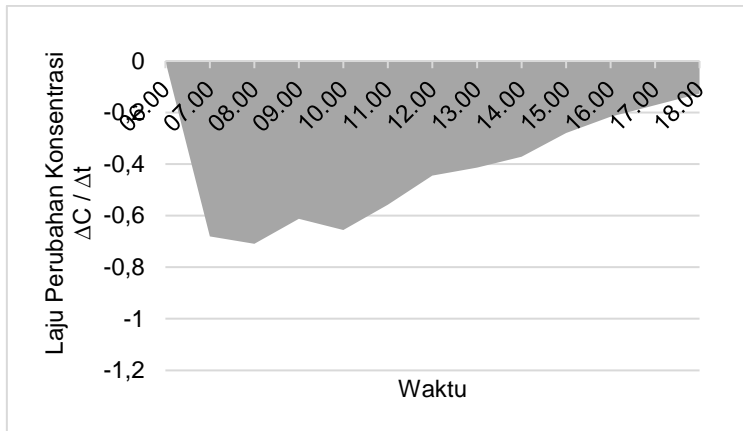
Sumber : Hasil Perhitungan

Gambar LC. 3 Laju Perubahan Konsentrasi Tumbuhan Eceng Gondok 75%



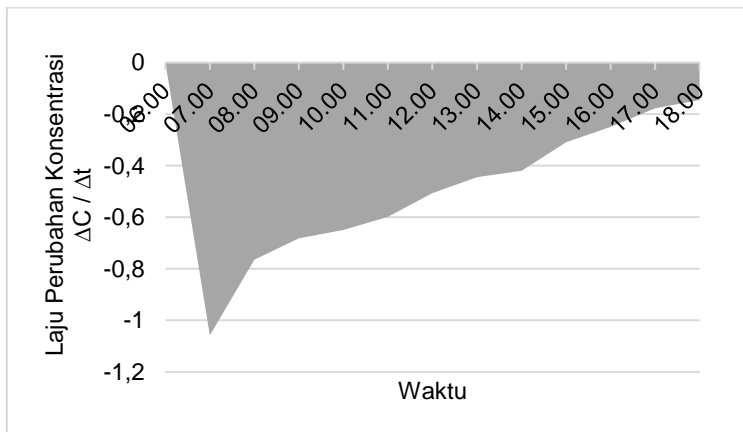
Sumber : Hasil Perhitungan

Gambar LC. 4 Laju Perubahan Konsentrasi Tumbuhan Kayu Apu 25%



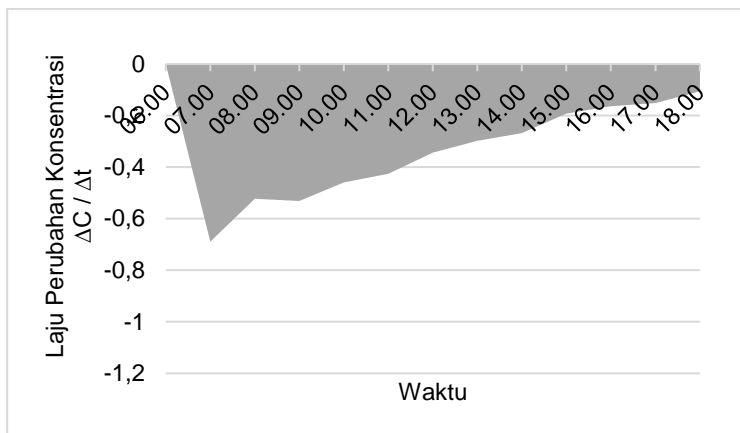
Sumber : Hasil Perhitungan

Gambar LC. 5 Laju Perubahan Konsentrasi Tumbuhan Kayu Apu 50%



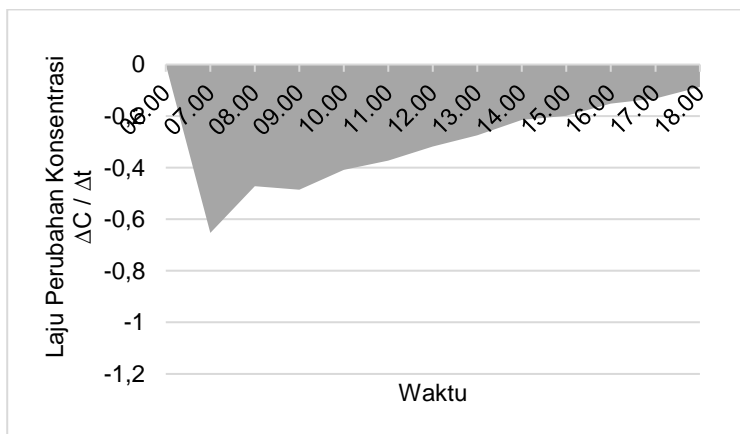
Sumber : Hasil Perhitungan

Gambar LC. 6 Laju Perubahan Konsentrasi Tumbuhan Kayu Apu 75%



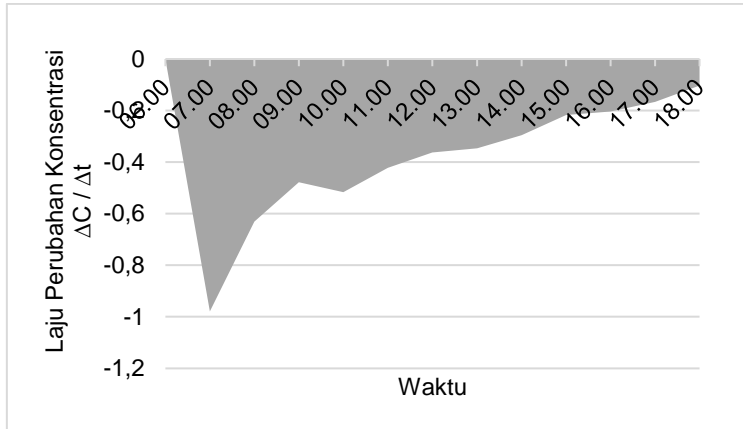
Sumber : Hasil Perhitungan

Gambar LC. 7 Laju Perubahan Konsentrasi Tumbuhan Hydrilla 25%



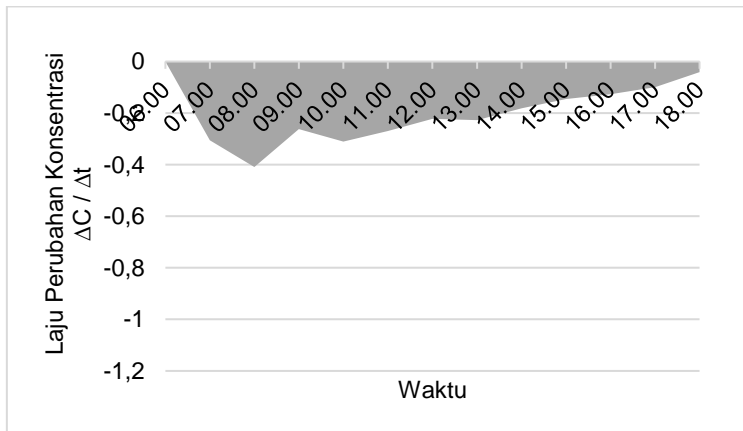
Sumber : Hasil Perhitungan

Gambar LC. 8 Laju Perubahan Konsentrasi Tumbuhan Hydrilla 50%



Sumber : Hasil Perhitungan

Gambar LC. 9 Laju Perubahan Konsentrasi Tumbuhan Hydrilla 75%



Sumber : Hasil Perhitungan

Gambar LC. 10 Laju Perubahan Konsentrasi Blanko Luasan 0%

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

LAMPIRAN D
DOKUMENTASI PENGAMATAN



Gambar LD. 1 Lokasi Pengambilan Media Tumbuh Air Sungai



Gambar LD. 2 Tumbuhan Eceng Gondok 25%



Gambar LD. 3 Tumbuhan Eceng Gondok 50%



Gambar LD. 4 Tumbuhan Eceng Gondok 75%



Gambar LD. 5 Tumbuhan Kayu Apu 25%



Gambar LD. 6 Tumbuhan Kayu Apu 50%



Gambar LD. 7 Tumbuhan Kayu Apu 75%



Gambar LD. 8 Tumbuhan Hydrilla 25%



Gambar LD. 9 Tumbuhan Hydrilla 50%



Gambar LD. 10 Tumbuhan Hydrilla 75%



Gambar LD. 11 Posisi Probe/Sensor saat Pengukuran



Gambar LD. 12 Reaktor yang Ditutup Plastik Transparan

LAMPIRAN E
DATA INTENSITAS CAHAYA MATAHARI KOTA
SURABAYA
BULAN MARET-APRIL 2018

Tabel LE 1. Intensitas Cahaya Matahari Hari Ke-1
 Selasa, 27 Maret 2018

Jam	Radiasi (W/m²)
06.00	1,81
07.00	23,75
08.00	67,5
09.00	84,3
10.00	87,58
11.00	168,46
12.00	249,39
13.00	271,44
14.00	404,97
15.00	322,32
16.00	109,6
17.00	34,37
18.00	2,08

Tabel LE 2. Intensitas Cahaya Matahari Hari Ke-2
 Selasa, 28 Maret 2018

Jam	Radiasi (W/m²)
06.00	11,23
07.00	29,48
08.00	58,96
09.00	101,02
10.00	171,44
11.00	227,3
12.00	248
13.00	603,39

14.00	518,33
15.00	54,3
16.00	42,667
17.00	72,458
18.00	4,4864

Tabel LE 3. Intensitas Cahaya Matahari Hari Ke-3
Kamis, 29 Maret 2018

Jam	Radiasi (W/m ²)
06.00	79,09
07.00	138,2
08.00	317,85
09.00	246,86
10.00	219,93
11.00	376,34
12.00	612,38
13.00	255,28
14.00	177,89
15.00	62,814
16.00	48,901
17.00	50,514
18.00	33,227

Tabel LE 4. Intensitas Cahaya Matahari Hari Ke-4
Jumat, 30 Maret 2018

Jam	Radiasi (W/m ²)
06.00	52,443
07.00	98,629
08.00	303,36
09.00	182
10.00	278,29
11.00	657,94
12.00	680,22

13.00	657,22
14.00	448,96
15.00	185,88
16.00	119,44
17.00	39,766
18.00	21,542

Tabel LE 5. Intensitas Cahaya Matahari Hari Ke-5
Rabu, 11 April 2018

Jam	Radiasi (W/m ²)
06.00	14,85
07.00	58,511
08.00	105,59
09.00	163,82
10.00	538,9
11.00	596,04
12.00	667,42
13.00	657
14.00	582,38
15.00	315,96
16.00	90,869
17.00	57,248
18.00	6,9038

Tabel LE 6. Intensitas Cahaya Matahari Hari Ke-6
Kamis, 12 April 2018

Jam	Radiasi (W/m ²)
06.00	9,3547
07.00	45,499
08.00	97,476
09.00	145,26
10.00	557,7
11.00	444,72

12.00	498,52
13.00	667,27
14.00	591,25
15.00	267,25
16.00	60,425
17.00	40,878
18.00	3,7852

Tabel LE 7. Intensitas Cahaya Matahari Hari Ke-7
 Jumat, 13 April 2018

Jam	Radiasi (W/m²)
06.00	5,8105
07.00	45,628
08.00	159,22
09.00	186,8
10.00	305,66
11.00	416,23
12.00	451,71
13.00	638,01
14.00	430,42
15.00	278,15
16.00	96,552
17.00	24,3
18.00	3,2953

BIOGRAFI PENULIS



Rohmah Iftitah Sa'idatul Izzah, dilahirkan di Kabupaten Lumajang, Jawa Timur pada tanggal 13 April 1997 yang merupakan anak pertama dari empat bersaudara. Penulis menempuh pendidikan dasar di Sekolah Dasar Islam Tmpokersan, Lumajang selama tahun 2002-2008. Penulis melanjutkan pendidikan di SMPN 1 Sukodono, Lumajang selama tahun 2008-2011 dan

dilanjutkan pendidikan tingkat atas yang dilalui di SMAN 2 Lumajang selama tahun 2011-2014. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan, ITS Surabaya pada tahun 2014 dan terdaftar dengan NRP 03211440000029.

Penulis aktif pada kegiatan penulisan karya ilmiah, riset, dan teknologi. Penulis pernah meraih medali perak pada kegiatan PIMNAS di Kendari pada tahun 2015 dan beberapa kejuaran karya ilmiah di UNISSULA, UNS, dan UNEJ pada tahun 2016-2017. Selama perkuliahan, penulis aktif pada organisasi maupun kepanitiaan di Jurusan Teknik Lingkungan. Penulis merupakan staff kementerian riset dan teknologi BEM ITS periode 2015/2016 dan departemen riset dan teknologi, HMTL ITS periode 2016/2017. Berbagai pelatihan dan seminar nasional juga telah diikuti dalam rangka untuk pengembangan diri dan penambahan wawasan. Bila ada pertanyaan terkait tugas akhir penulis, silahkan menghubungi penulis via email di rohmahiftitah@gmail.com.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”